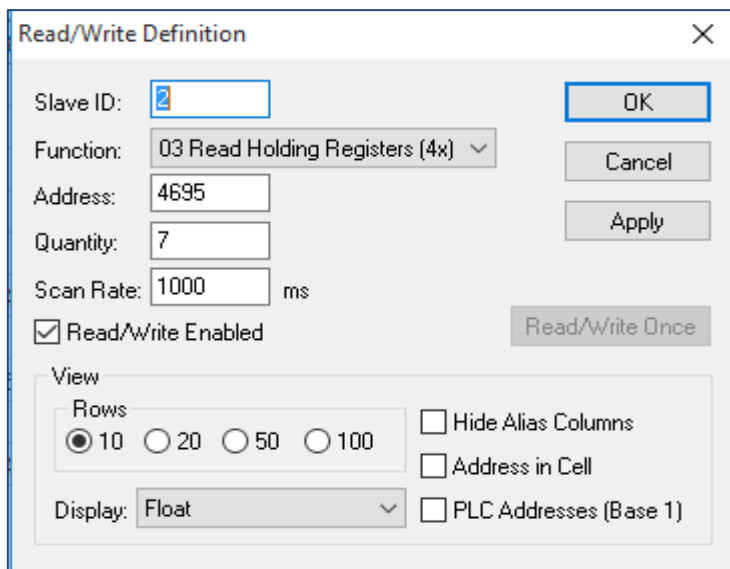


3.2.1.4. Configuración del Modbus Poll para la toma de datos del controlador Dicon – Jumo Logoscreen.

Se ingresa al Modbus Poll y se elige la opción de Setup, y elegir Read Write Definition



Read/Write Definition

Slave ID: 2

Function: 03 Read Holding Registers (4x)

Address: 4695

Quantity: 7

Scan Rate: 1000 ms

☒ Read/Write Enabled

View

Rows: ☒ 10 ☐ 20 ☐ 50 ☐ 100

Display: Float

☐ Hide Alias Columns

☐ Address in Cell

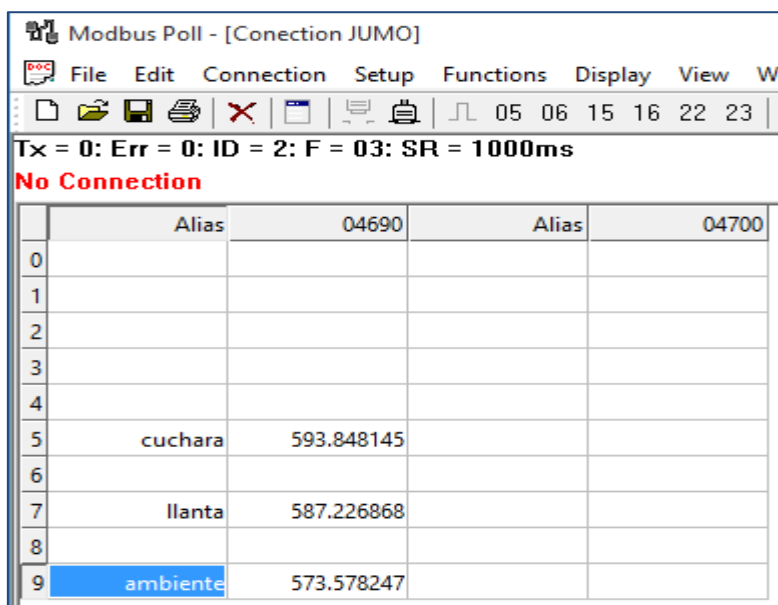
☐ PLC Addresses (Base 1)

OK Cancel Apply Read/Write Once

Figura N° 23: Configuración de lectura de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Aparecerá las lecturas de temperaturas:



Modbus Poll - [Conexión JUMO]

File Edit Connection Setup Functions Display View Wi

Tx = 0: Err = 0: ID = 2: F = 03: SR = 1000ms

No Connection

	Alias	04690	Alias	04700
0				
1				
2				
3				
4				
5	cuchara	593.848145		
6				
7	llanta	587.226868		
8				
9	ambiente	573.578247		

Figura N° 24: Modbus Poll.

Fuente: Elaboración propia.

Luego elegir connection para la configuración de la comunicación serial RS232.

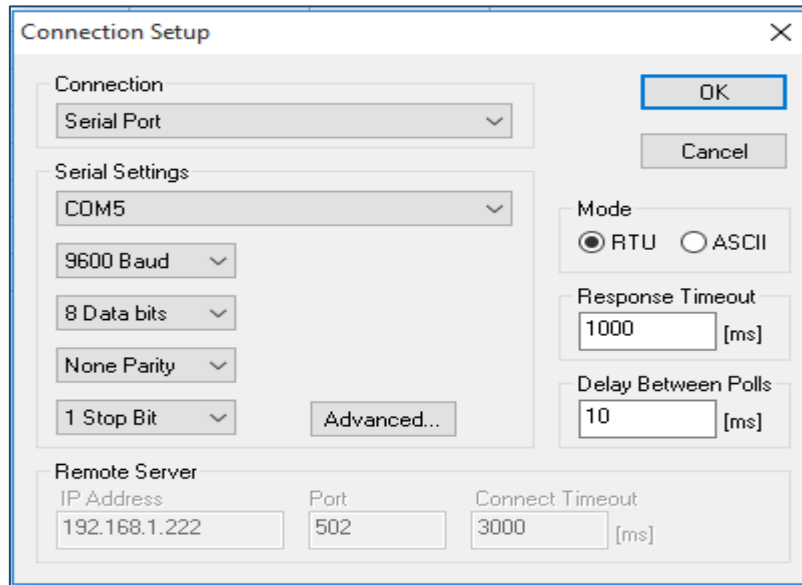


Figura N° 25: Configuración de la comunicación serial RS232.

Fuente: Elaboración propia.

Para visualizar los datos en un archivo Excel, ir a la opción setup y luego elegir Excel log. donde se determina la cantidad de registros y el lapso de tiempo para la lectura de datos.

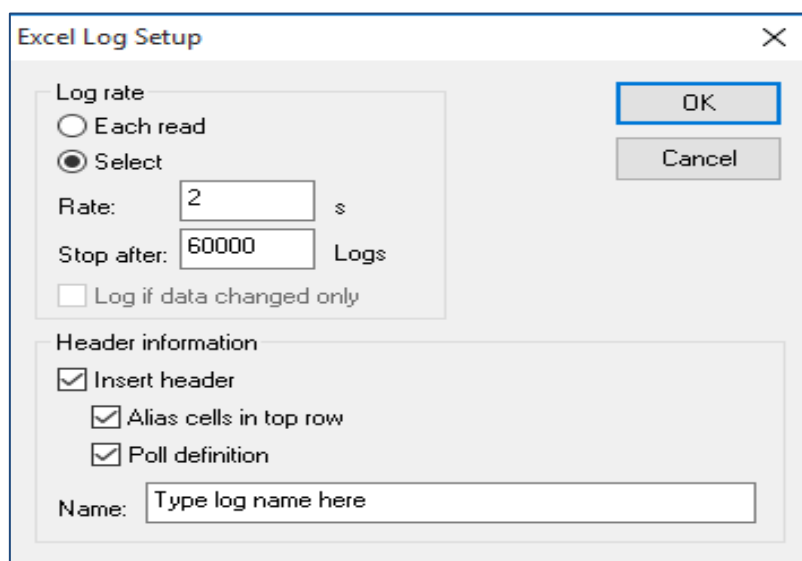


Figura N° 26: Configuración para adquisición de datos en Excel.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se abre un libro Excel registrando los datos según el lapso de tiempo de medición de temperatura de las termocuplas en un número de registro que se configuró anteriormente.

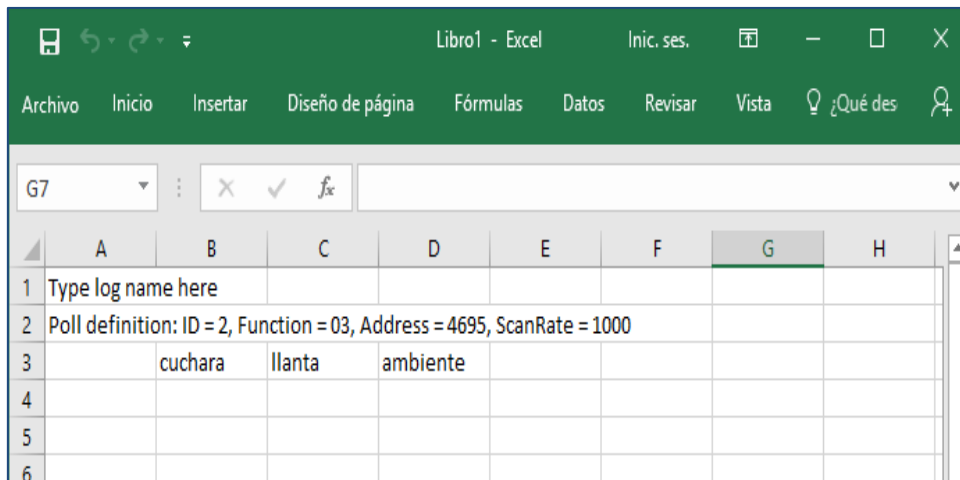
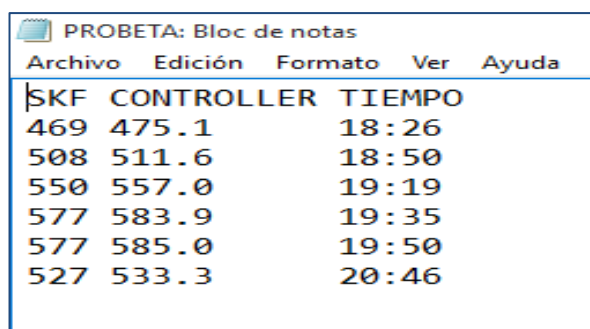


Figura N° 27: Registro de Datos en Excel.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se realizó una comparación de las temperaturas registradas en el controlador y las lecturas obtenidas directamente de las termocuplas utilizando un pirómetro de la marca SKF.



SKF CONTROLLER TIEMPO		
469	475.1	18:26
508	511.6	18:50
550	557.0	19:19
577	583.9	19:35
577	585.0	19:50
527	533.3	20:46

Figura N° 28: Toma de datos con el pirómetro.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado de las lecturas de las temperaturas está almacenado en archivos de xls. Para su posterior análisis.

SKF	CONTROLLER	TIEMPO	DIFERENCIA DE T°	T° MEDIA DE LA DIFERENCIA
469.00	475.10	18:26	6.10	6.32
508.00	511.60	18:50	3.60	
550.00	557.00	19:19	7.00	
577.00	583.90	19:35	6.90	
577.00	585.00	19:50	8.00	
527.00	533.30	20:46	6.30	

Tabla 2: Comparación de temperaturas.

Fuente: Elaboración propia.

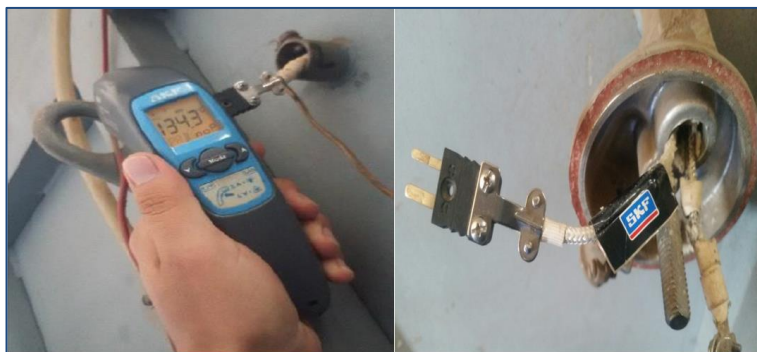


Figura N° 29: Medición de temperatura con el pirómetro SKF.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 30: Toma de datos del controlador.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5. Segmentos en Tratamiento térmico y Curva de tratamiento

- Segmento de Precalentamiento

	A	B	C	D
1	Type log name here			
2	Poll definition: ID = 2, Function = 03, Address = 4695, ScanRate = 1000			
3		Tem Cuchara	Tem Llanta	Tem Ambien
4	09/28/16 10:27:47	76.88415527	80.0434113	36.5441742
5	09/28/16 10:27:52	76.87511444	80.0121689	36.8344078
6	09/28/16 10:27:57	76.83247375	80.0084915	37.2286911
7	09/28/16 10:28:02	76.85110474	79.7773819	37.616394
8	09/28/16 10:28:07	76.79203796	79.8170471	38.0553436
9	09/28/16 10:28:12	76.77259827	79.7581787	38.3455658
10	09/28/16 10:28:17	76.77593994	79.7389679	38.913456
11	09/28/16 10:28:22	76.75011444	79.6404266	39.5755157
12	09/28/16 10:28:27	76.79493713	79.6488342	40.2338257
13	09/28/16 10:28:32	76.81072998	79.568718	41.0906715
14	09/28/16 10:28:37	76.86697388	79.6111603	41.8668976
15	09/28/16 10:28:42	76.91181946	79.5431213	42.7173424
16	09/28/16 10:28:47	76.90794373	79.6039963	43.6050568
17	09/28/16 10:28:52	76.90882111	79.6833267	44.4741325

Tabla 3: Inicio del segmento de precalentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D
295	09/28/16 10:52:02	90.16886139	91.014671	99.991318
296	09/28/16 10:52:07	90.18022156	90.980629	100.01292
297	09/28/16 10:52:12	90.27800751	91.05442	100.13408
298	09/28/16 10:52:17	90.29959106	91.075821	100.2209
299	09/28/16 10:52:22	90.3453598	91.103539	100.34206
300	09/28/16 10:52:27	90.36867523	91.198685	100.33571
301	09/28/16 10:52:32	90.3910675	91.217072	100.41959
302	09/28/16 10:52:37	90.43548584	91.17099	100.4382
303	09/28/16 10:52:42	90.49503326	91.266182	100.39458
304	09/28/16 10:52:47	90.5400238	91.358307	100.48778
305	09/28/16 10:52:52	90.57376862	91.3797	100.4814
306	09/28/16 10:52:57	90.61317444	91.407425	100.50938
307	09/28/16 10:53:02	90.64622498	91.327332	100.54961
308	09/28/16 10:53:07	90.67901611	91.456512	100.54961
309	09/28/16 10:53:12	90.70355225	91.382759	100.60552
310	09/28/16 10:53:17	90.76899719	91.496292	100.59914
311	09/28/16 10:53:22	90.7910614	91.468582	100.53391
312	09/28/16 10:53:27	90.8319931	91.54538	100.62074
313	09/28/16 10:53:32	90.8219986	91.54538	100.72329

Tabla 4: Fin de segmento de precalentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Segmento de Calentamiento

	A	B	C	D
295	09/28/16 10:52:02	90.16886139	91.014671	99.991318
296	09/28/16 10:52:07	90.18022156	90.980629	100.01292
297	09/28/16 10:52:12	90.27800751	91.05442	100.13408
298	09/28/16 10:52:17	90.29959106	91.075821	100.2209
299	09/28/16 10:52:22	90.3453598	91.103539	100.34206
300	09/28/16 10:52:27	90.36867523	91.198685	100.33571
301	09/28/16 10:52:32	90.3910675	91.217072	100.41959
302	09/28/16 10:52:37	90.43548584	91.17099	100.4382
303	09/28/16 10:52:42	90.49503326	91.266182	100.39458
304	09/28/16 10:52:47	90.5400238	91.358307	100.48778
305	09/28/16 10:52:52	90.57376862	91.3797	100.4814
306	09/28/16 10:52:57	90.61317444	91.407425	100.50938
307	09/28/16 10:53:02	90.64622498	91.327332	100.54961
308	09/28/16 10:53:07	90.67901611	91.456512	100.54961
309	09/28/16 10:53:12	90.70355225	91.382759	100.60552
310	09/28/16 10:53:17	90.76899719	91.496292	100.59914
311	09/28/16 10:53:22	90.7910614	91.468582	100.53391
312	09/28/16 10:53:27	90.8319931	91.54538	100.62074
313	09/28/16 10:53:32	90.8219986	91.54538	100.72329

Tabla 5: Inicio de segmento de Calentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D
13411	09/29/16 05:06:01	589.4785156	591.02698	535.14026
13412	09/29/16 05:06:06	589.4862061	590.96405	534.75415
13413	09/29/16 05:06:11	589.460144	590.87408	534.43958
13414	09/29/16 05:06:16	589.4438477	590.82916	534.1969
13415	09/29/16 05:06:21	589.411499	590.73053	533.9455
13416	09/29/16 05:06:26	589.3774414	590.75732	533.7027
13417	09/29/16 05:06:31	589.3597412	590.75732	533.43311
13418	09/29/16 05:06:36	589.420166	590.64063	533.16357
13419	09/29/16 05:06:41	589.3665161	590.60449	532.71429
13420	09/29/16 05:06:46	589.3036499	590.60449	532.35498
13421	09/29/16 05:06:51	589.3079834	590.55957	532.17523
13422	09/29/16 05:06:56	589.3044434	590.48773	532.04047
13423	09/29/16 05:07:01	589.2668457	590.4516	531.75281
13424	09/29/16 05:07:06	589.2462158	590.30792	531.41162
13425	09/29/16 05:07:11	589.2009277	590.30792	531.08838
13426	09/29/16 05:07:16	589.1781006	590.33484	530.91742
13427	09/29/16 05:07:21	589.1690063	590.245	530.62103
13428	09/29/16 05:07:26	589.1415405	590.21808	530.36963
13429	09/29/16 05:07:31	589.1365967	590.17303	529.99207

Tabla 6: Fin de segmento de Calentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Segmento de Mantenimiento

	A	B	C	D
12819	09/29/16 04:16:41	579.8302002	584.97003	547.8916
12820	09/29/16 04:16:46	579.9966431	585.14978	548.64758
12821	09/29/16 04:16:51	580.1689453	585.44629	549.51099
12822	09/29/16 04:16:56	580.3748779	585.58118	550.0871
12823	09/29/16 04:17:01	580.5273438	585.94067	550.86993
12824	09/29/16 04:17:06	580.7420654	586.18347	551.57153
12825	09/29/16 04:17:11	580.902771	586.36316	552.31812
12826	09/29/16 04:17:16	581.1219482	586.49805	552.83105
12827	09/29/16 04:17:21	581.3126221	586.77655	553.479
12828	09/29/16 04:17:26	581.5753174	587.00128	553.91064
12829	09/29/16 04:17:31	581.6172485	587.08234	554.31549
12830	09/29/16 04:17:36	581.8364258	587.30707	554.37872
12831	09/29/16 04:17:41	581.9901123	587.44183	554.94525
12832	09/29/16 04:17:46	582.1661377	587.6485	555.17017
12833	09/29/16 04:17:51	582.3375854	587.87323	555.46692
12834	09/29/16 04:17:56	582.5425415	588.00806	555.62
12835	09/29/16 04:18:01	582.6903076	588.18787	555.76373
12836	09/29/16 04:18:06	582.8840332	588.40326	555.96173
12837	09/29/16 04:18:11	583.0460205	588.4306	555.99805

Tabla 7: Inicio de segmento de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D
13101	09/29/16 04:40:11	583.7706299	585.14709	515.25366
13102	09/29/16 04:40:16	583.7248535	585.09326	515.18195
13103	09/29/16 04:40:21	583.689209	584.9765	515.13702
13104	09/29/16 04:40:26	583.6477051	584.93158	514.82239
13105	09/29/16 04:40:31	583.5692139	584.85974	514.70569
13106	09/29/16 04:40:36	583.5526123	584.77863	514.48096
13107	09/29/16 04:40:41	583.4909668	584.77863	514.37292
13108	09/29/16 04:40:46	583.4586182	584.75183	514.13
13109	09/29/16 04:40:51	583.3770752	584.64386	513.85162
13110	09/29/16 04:40:56	583.3608398	584.64386	513.64508
13111	09/29/16 04:41:01	583.2912598	584.5271	513.67194
13112	09/29/16 04:41:06	583.2473145	584.41028	513.51019
13113	09/29/16 04:41:11	583.1958618	584.41028	513.29425
13114	09/29/16 04:41:16	583.1646729	584.43719	512.92596
13115	09/29/16 04:41:21	583.0899658	584.36536	512.86292
13116	09/29/16 04:41:26	583.0458984	584.34735	512.88965
13117	09/29/16 04:41:31	582.96875	584.18555	512.70123
13118	09/29/16 04:41:36	582.9367676	584.14063	512.56641
13119	09/29/16 04:41:41	582.8709717	584.19446	512.41339

Tabla 8: Fin de segmento de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Segmento de Enfriamiento

	A	B	C	D
13101	09/29/16 04:40:11	583.7706299	585.14709	515.25366
13102	09/29/16 04:40:16	583.7248535	585.09326	515.18195
13103	09/29/16 04:40:21	583.689209	584.9765	515.13702
13104	09/29/16 04:40:26	583.6477051	584.93158	514.82239
13105	09/29/16 04:40:31	583.5692139	584.85974	514.70569
13106	09/29/16 04:40:36	583.5526123	584.77863	514.48096
13107	09/29/16 04:40:41	583.4909668	584.77863	514.37292
13108	09/29/16 04:40:46	583.4586182	584.75183	514.13
13109	09/29/16 04:40:51	583.3770752	584.64386	513.85162
13110	09/29/16 04:40:56	583.3608398	584.64386	513.64508
13111	09/29/16 04:41:01	583.2912598	584.5271	513.67194
13112	09/29/16 04:41:06	583.2473145	584.41028	513.51019
13113	09/29/16 04:41:11	583.1958618	584.41028	513.29425
13114	09/29/16 04:41:16	583.1646729	584.43719	512.92596
13115	09/29/16 04:41:21	583.0899658	584.36536	512.86292
13116	09/29/16 04:41:26	583.0458984	584.34735	512.88965
13117	09/29/16 04:41:31	582.96875	584.18555	512.70123
13118	09/29/16 04:41:36	582.9367676	584.14063	512.56641
13119	09/29/16 04:41:41	582.8709717	584.19446	512.41339

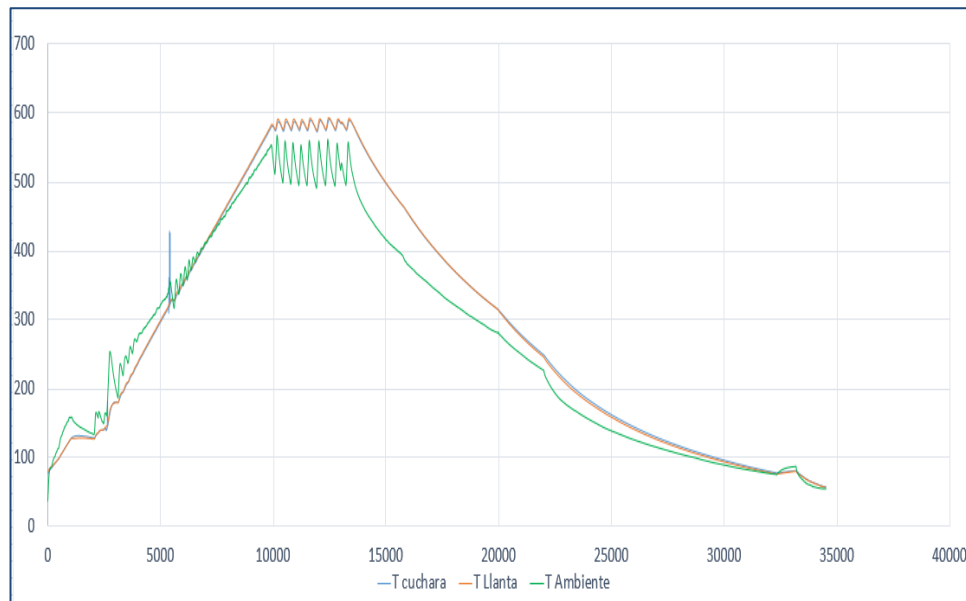
Tabla 9: Fin de segmento de Enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D
34496	09/30/16 10:23:06	57.16290665	56.403496	54.812187
34497	09/30/16 10:23:11	57.12399292	56.518864	54.863403
34498	09/30/16 10:23:16	57.14482117	56.527916	54.779503
34499	09/30/16 10:23:21	57.12155533	56.560513	54.784515
34500	09/30/16 10:23:26	57.12477493	56.431152	54.73811
34501	09/30/16 10:23:31	57.11771393	56.398552	54.779503
34502	09/30/16 10:23:36	57.14035797	56.472572	54.696461
34503	09/30/16 10:23:41	57.08116913	56.398552	54.73307
34504	09/30/16 10:23:46	57.0772171	56.384834	54.645256
34505	09/30/16 10:23:51	57.11999893	56.357178	54.719345
34506	09/30/16 10:23:56	57.11403275	56.392365	54.745613
34507	09/30/16 10:24:01	57.09148407	56.491192	54.612572
34508	09/30/16 10:24:06	57.0892868	56.47541	54.652779
34509	09/30/16 10:24:11	57.08039474	56.378647	54.731895
34510	09/30/16 10:24:16	57.0202179	56.359997	54.564934
34511	09/30/16 10:24:21	57.06858063	56.438671	54.68045
34512	09/30/16 10:24:26	57.00168991	56.410999	54.625092
34513	09/30/16 10:24:31	57.04909134	56.392365	54.532249
34514	09/30/16 10:24:36	57.04911423	56.410999	54.532249

Tabla 10: Fin de segmento de Enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Curva de Tratamiento Térmico

Gráfica N° 1: Curva de Tratamiento Térmico generado por el controlador Jumo.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.6. Resultados de la Toma de Datos con el controlador Jumo

- En la Gráfica N°1 generada por los datos recolectados del controlador Jumo, se observa en el eje "y" los grados centígrados y en el eje "x" la cantidad de datos registrados, por un tiempo de 48 horas que duró el tratamiento térmico. Durante el proceso, se observa que existe un margen de error alto en la curva de tratamiento térmico (segmento de ascenso, mantenimiento y descenso) porque existe inestabilidad, ya que la temperatura de ajuste o referencia es superada por la temperatura intermedia, este inconveniente involucra a que el operador tenga que monitorear haciendo comparaciones de las temperaturas para saber si las diferencias excedan o no a los 30°C, si fuese así tiene que apagar y encender las resistencias.
- El controlador actual (véase *Figura N°29*) de la empresa muestra lecturas digitales que van actualizándose cada 5 segundos.
- El controlador actual no presenta los cambios de los estados del tratamiento térmico mediante una interfaz.



- En la tabla N°2 se presenta las temperaturas tomadas con el pirómetro SKF desde la misma termocupla, y las registradas con el controlador Jumo. Entre ambos equipos generan diferencias de temperaturas lo que significa la presencia de interferencia de lectura o error de medición.

3.2.2. Definición de requisitos.

El desarrollo de una solución automatizada para el control térmico del horno, ayuda al control y la supervisión del proceso de tratamiento, mediante una adquisición de datos, brindando información amigable hacia el operador, optimizando el tiempo de trabajo. El objetivo de los requerimientos es obtener una clara comprensión del problema a resolver y extraer las necesidades de las limitantes que presenta el sistema de control actual.

3.2.2.1. Análisis de Requerimiento de los Procesos

REQUERIMIENTOS DE LOS PROCESOS	
N°	DESCRIPCIÓN
RP1	Supervisar la temperatura inicial, relacionado con las velocidades de ascenso desde el arranque del horno y la temperatura final, prolongado por un cierto tiempo hasta que inicia el enfriamiento con la velocidad de descenso de la temperatura.
RP2	Monitorear los diferentes puntos del rodete como la cuchara, media, llanta y ambiente, porque son de diversos espesores y el tratamiento debe de ser uniforme.
RP3	Monitorear en tiempo real los parámetros del tratamiento, que garanticen el cumplimiento de las condiciones normales y dentro de las temperaturas programadas.
RP4	Manejar la información recabada para el análisis del proceso de tratamiento térmico.
RP5	Controlar la uniformidad del tratamiento térmico, así como optimizar el proceso de mantenimiento de los rodetes de las turbinas hidráulicas.
RP6	Generar una interacción fácil y oportuna entre el operador y el proceso de tratamiento térmico.
RP7	Optimizar los recursos como el tiempo.

3.2.2.2. Análisis de Requerimiento para el Software

REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN AUTOMATIZADA	
Nº	DESCRIPCIÓN
RSA1	Supervisar los estados del tratamiento y adquirir datos medidos, guardándolos en un archivo xls.
RSA2	Monitorear en tiempo real los parámetros del tratamiento, que garanticen que se está realizando bajo las condiciones normales y dentro de las temperaturas programadas.
RSA3	Visualizar la gráfica de la curva de tratamiento en tiempo real.
RSA4	Permitir acceder a los datos históricos guardados, del tratamiento térmico.
RSA5	Activar o desactivar de forma automática las clapetas con accionamiento neumático (para el enfriamiento progresivo), y del ventilador (para permitir la recirculación del aire caliente de forma uniforme por todo el cubículo interno del horno).
RSA6	Contar con un HMI amigable, para interacción entre el operador y el proceso de tratamiento.
RSA7	Alertar cuando se genera variación mayor a 30°C, entre la T° Intermedia y T° de Referencia, durante el proceso normal de tratamiento.

3.2.3. Desarrollo de arquitectura de sistemas.

3.2.3.1. Diagrama de Circuito Eléctrico del Horno de Tratamiento Térmico según la Solución Automatizada

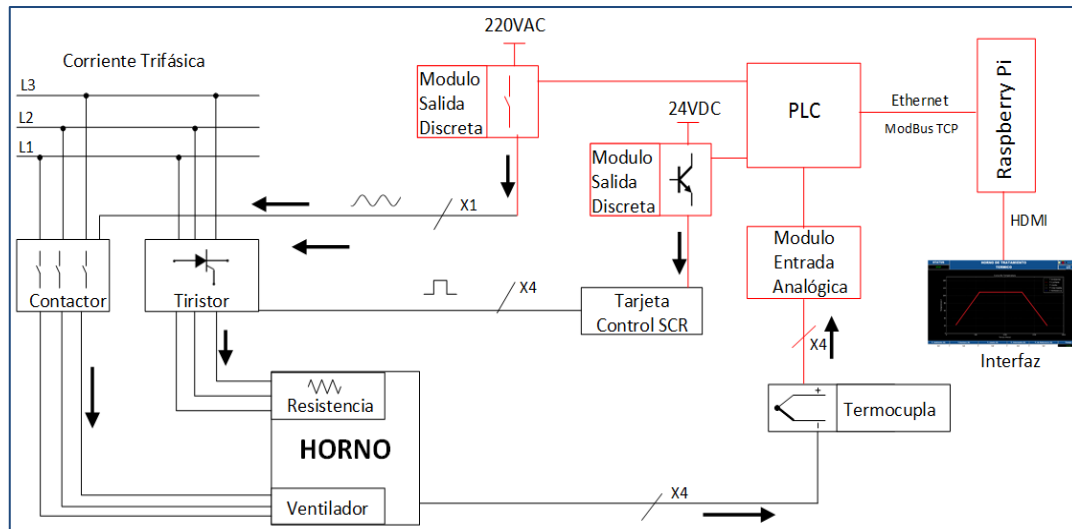


Diagrama N° 14: Circuito Eléctrico del Horno de Tratamiento Térmico Propuesto. los componentes delineados con rojo son los que se implementó con la solución automatizada.

Fuente: Elaboración propia.

- **Raspberry Pi:** Este componente es el encargado de recibir los datos enviados por el PLC, mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, y mostrarlos en una interfaz de usuario, donde el operador podrá visualizar las temperaturas en tiempo real y la curva de proceso de tratamiento térmico.
- **Contactor:** Es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente eléctrica, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se dé tensión a la bobina que esta al interior, este componente está conectado al módulo de salida discreta tipo relé del PLC.
- **Tiristor:** Cumplen la misma función que un contactor solo que esta no usa una bobina, en su lugar utilizan materiales de tipo semiconductor, está conectado a la tarjeta de control SCR.
- **Tarjeta Control SCR:** esta tarjeta se encarga de activar al tiristor para que pueda conducir o no la corriente eléctrica, lo especial de esta

tarjeta es que activa al tiristor cuando la tensión cruza por nivel cero de la onda senoidal.

- **Módulo De Salida Discreta Tipo Relé:** realiza el control del contactor, dejando pasar o no tensión eléctrica hacia las bobinas del contactor.
- **Módulo De Salida Discreta Tipo Transistor:** realiza el control de los tiristores a través de la tarjeta de control SCR, para permitir dejar pasar o no la electricidad hacia la tarjeta de control.
- **Módulo De Entrada Analógica:** es un dispositivo que recibe la señal en mili Voltios que viene de las termocuplas y los convierte a valores enteros y los envía hacia el PLC
- **Termocupla:** La termocupla es un sensor que convierte la temperatura en señal eléctrica, que está en unidades de mv (milivoltios).

3.2.4. Desarrollo de software, diseño de interfaz y diseño de hardware.

3.2.4.1. Diseño del Hardware para la Solución Automatizada

Estructura del Horno de Tratamiento Térmico

- Cámara de calentamiento, es el espacio físico donde se coloca la pieza a calentar.
- Elementos eléctricos (resistencias) responsables del calentamiento de la pieza.
- Revestimiento aislante, sirve para minimizar las pérdidas de calor al ambiente.
- Un ventilador para recirculación de aire para una distribución del calor de manera uniforme.
- Dos clapetas para la salida del aire caliente al momento del enfriamiento del horno.

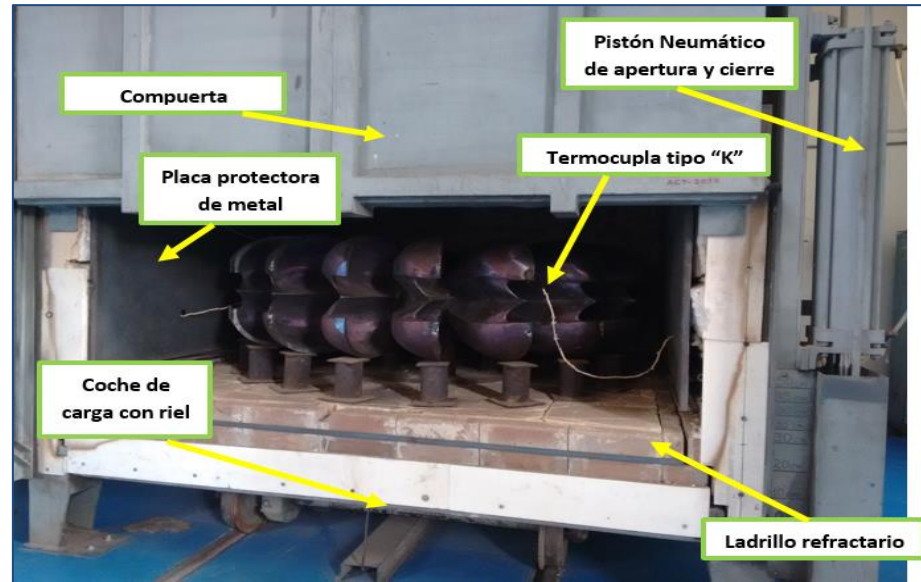


Figura N° 31: Componentes del Horno de EGEMSA.
Fuente: Elaboración propia.

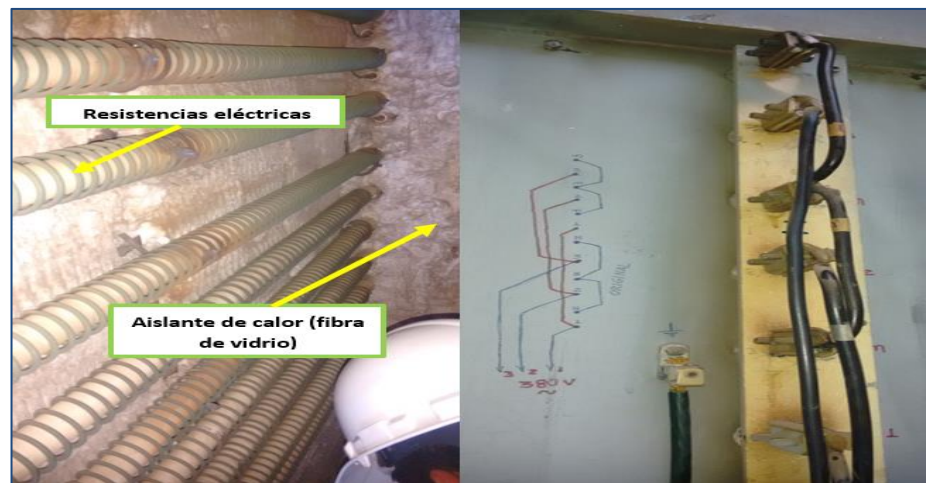


Figura N° 32: Componentes eléctricos (izquierda), distribución de la alimentación eléctrica a las resistencias (derecha).
Fuente: Elaboración propia.

El horno ya existente en la empresa EGEMSA es del tipo de calentamiento eléctrico, las características que fueron descritas en Capítulo II (2.2.2.1. Tipos de hornos de tratamiento térmico), en el que funcionan por acción de una resistencia eléctrica. Este tipo de hornos son para procesos de tratamiento térmico de piezas metálicas de gran volumen como es el caso del rodete, y también porque son de uso industrial.

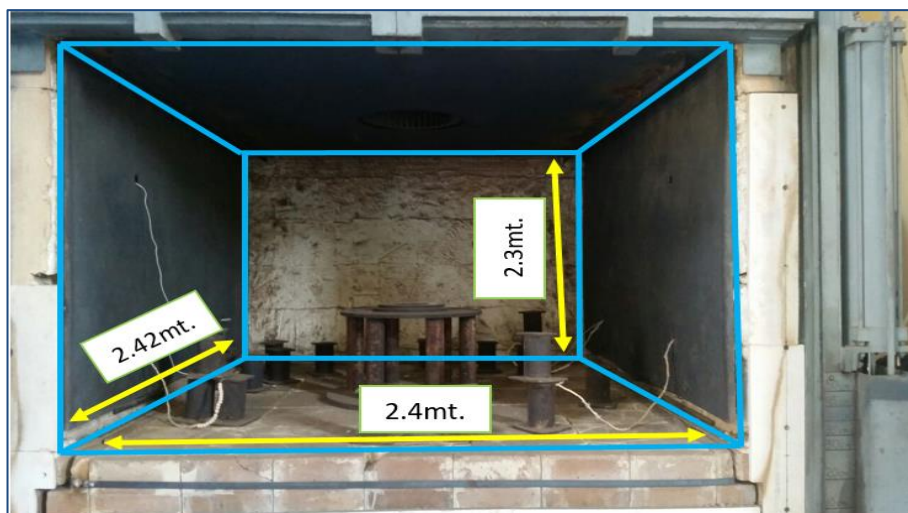


Figura N° 33: Dimensiones internas del horno de tratamiento.
Fuente: Elaboración propia.

El horno de tratamiento presenta las siguientes características técnicas:

	Horno de Tratamiento T°
Fabricación	Alston
camára interna	
ancho	2.4m
alto	1.46m
largo	2.42m
dimens. externa	
ancho	2.9m
alto	2.3m
largo	3m
potencia elect.	150 KW
alimentación	trifásico
voltaje	380v.
frecuencia	60Hz
intensidad	230Amperios
T° máxima	600 °C
ventilación	clapeta /electroválvula
tipo acc. clapeta	aire comprimido
cámara interna	cubículo interno
aislante de calor	lana de vidrio
longitud de resistencia	3m
tipo de resistencia	longitudinal en "U"
cant. de resistencias	5 unidades por lado
cant. De termocupla	8 und.
tipo acc. puerta	neumático y pistón
tipo de material base	ladrillo refractario
tipo acc. Coche/carga	aire comprimido
controladores de t°	termocupla tipo "K"

Figura N° 34: Especificaciones de Horno de Tratamiento Térmico de EGEMSA.
Fuente: Elaboración propia.

Sistema Eléctrico para la Automatización

El análisis de requerimientos de la solución automatizada para el control térmico que se describe en el Capítulo III, 3.1. permite el diseño del sistema SCADA que lo administra el PLC. Para diseñar el nuevo sistema, se graficó todo el circuito eléctrico de control para el horno.

PLC TM24124R

Se utilizó el controlador lógico programable TM24124R de la serie Modicon M241 perteneciente a la marca Schneider Electric, es el mejor en su clase en cuanto a comunicaciones, con sus 5 puertos integrados, porque tiene una salida de tipo transistor que permite el encendido y apagado de resistencias de manera continua; como el ingreso de canales digitales para pulsadores (ver Anexo D). Este modelo de PLC ofrece las características técnicas más avanzadas y maestro integrado para arquitecturas con bus de campo dispositivos, al mismo tiempo que se reduce los tiempos de instalación y costes (ver Anexo E).

Cuadro comparativo para la elección de PLC

	CPU										
							Puerto Físico de Comunicación			Modulos Externos	
	modelo	entradas digitales	salidas digitales tipo transistor	salidas digitales tipo relay	controlador PID	PWM	puerto ethernet	puerto RS485	puerto R232	modulo de salida tipo	modulo de lectura
SCHNEIDER	Modicon TM241CE24R	14 canales	4 canales	6 canales	si	si	1 puerto	1 puerto	1 puerto	interno	TM3T18T
											8 canales
SIEMENS	CPU1212C, A/C/RLY SIMATIC S7-1200, CPU 1212C,	8 canales	6 canales	si	si	1 puerto	Simatic S7-1200, SM 1222 8 DO 24 vdc	Simatic S7-1200, SM 1231 de 4 AI TC
										8 canales	4 canales

Cuadro N° 1: Comparación Técnica de PLC de marca Schneider y Siemens.

Fuente: Elaboración propia.

	modelo	modulo de salida tipo transistor	modulo de lectura analogica	software de programacion	costo (S/.)
SCHNEIDER	Modicon TM241CE24R	interno	TM3TI8T	SoMachine (gratis)	2001.00
SIEMENS	CPU1212C, A/C/RLY SMTIC S7-1200, CPU 1212C.	Simatic S7-1200, SM 1222 8 DO 24 vdc	Simatic S7-1200, SM 1231 de 4 AI TC	Tia Portal V14	3907.80

Cuadro N° 2: Comparación de Costos de PLC de marca Schneider y Siemens.

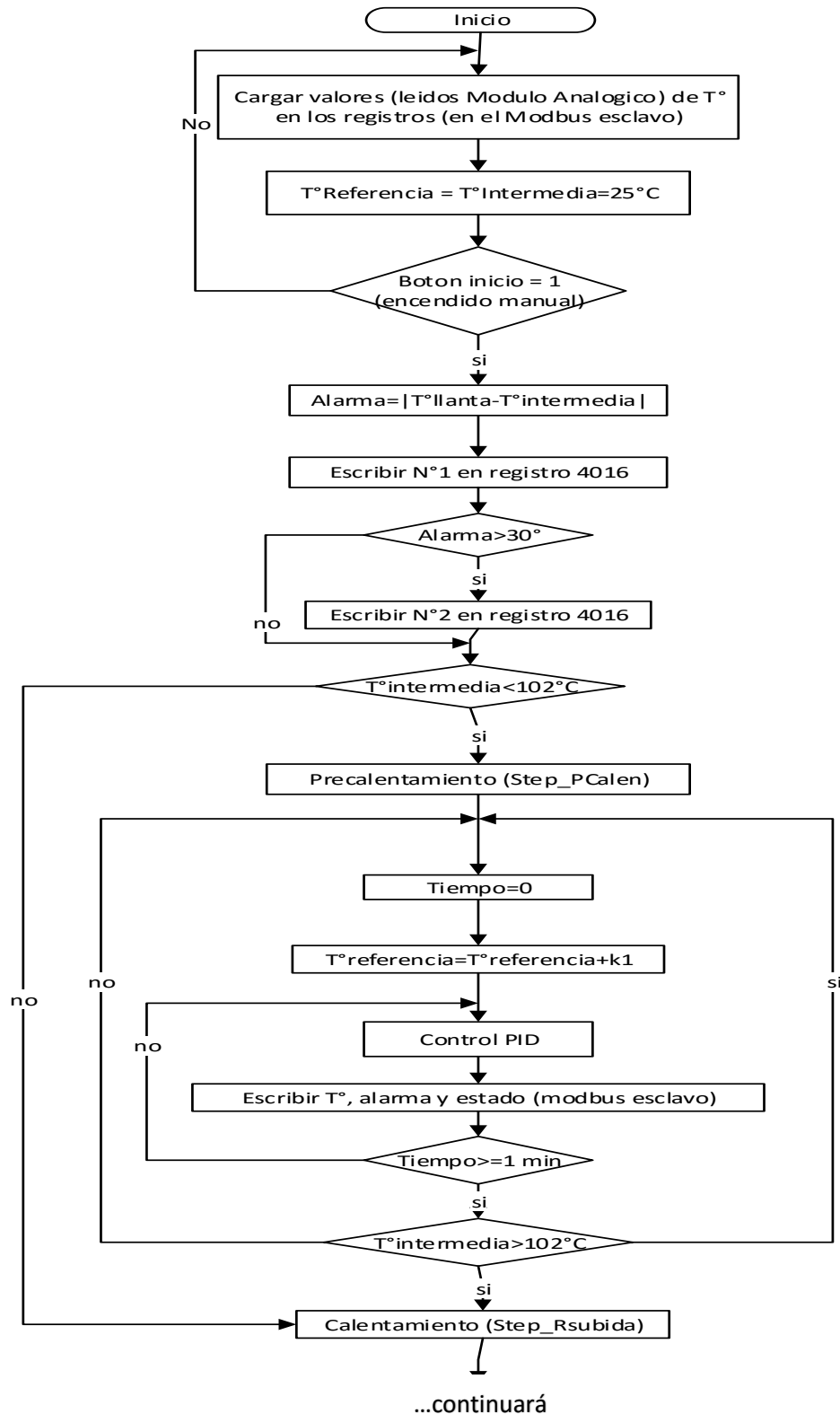
Fuente: Elaboración propia.

Conclusión de la elección de PLC

La elección del PLC es por la marca Schneider Electric por tener mejores especificaciones técnicas, como las salidas digitales de tipo transistor que permitirá el encendido y apagado de las resistencias continuamente, los puertos físicos de comunicación R485 y R232, en cuanto al software es gratuito y al costo total del equipo es menor que la marca Siemens.

3.2.4.2. Desarrollo del software para la Solución Automatizada

Funcionamiento del Programa Principal – PLC



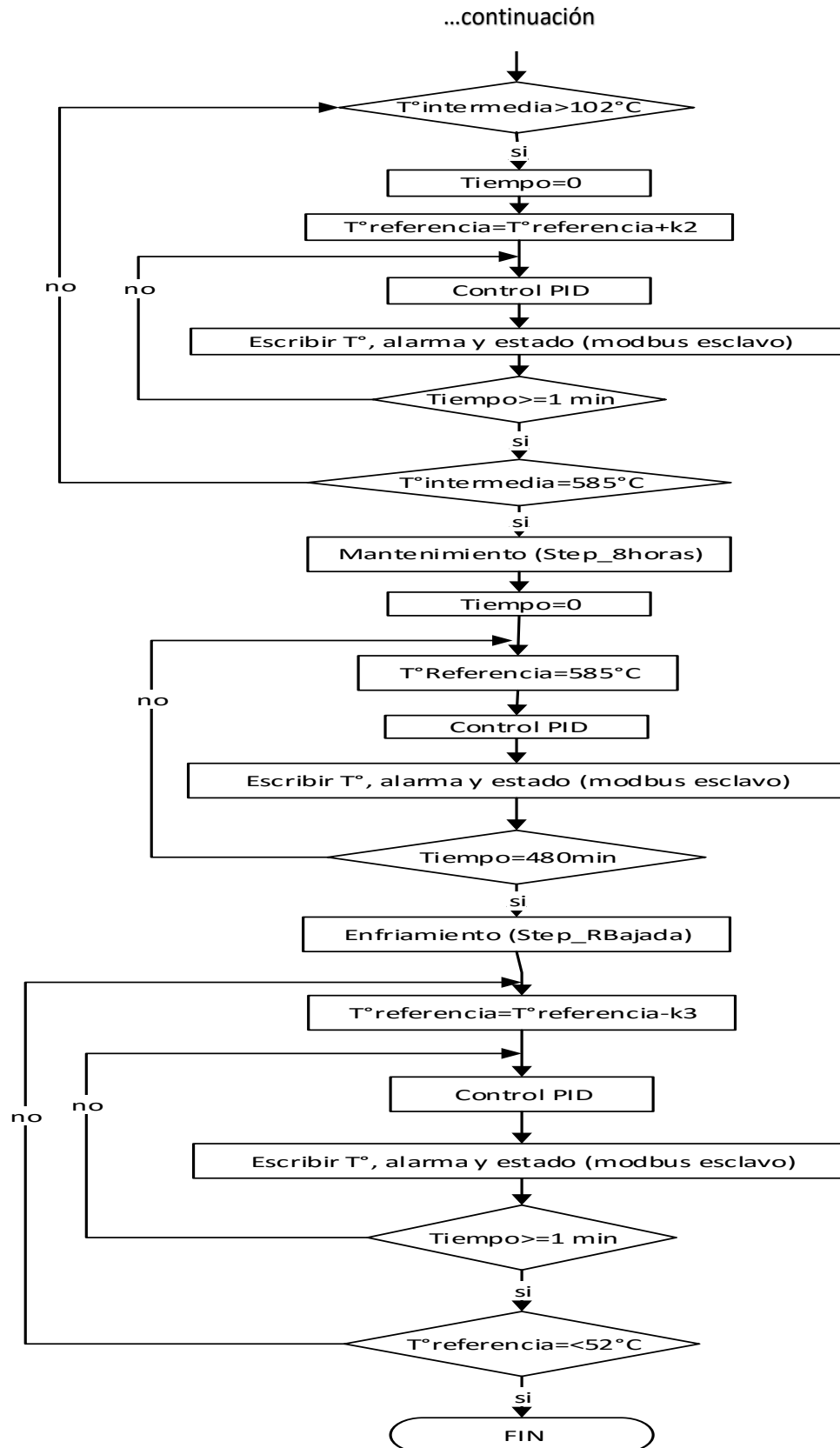


Diagrama N° 15: Controlador Lógico Programable.
Fuente: Elaboración propia.

Programación Del PLC

El programa principal diseñado en SoMachine, presenta dos opciones a seguir: proceso A o B, cada recuadro representa una función o programa. La activación es manual mediante el pulsador del tablero eléctrico.

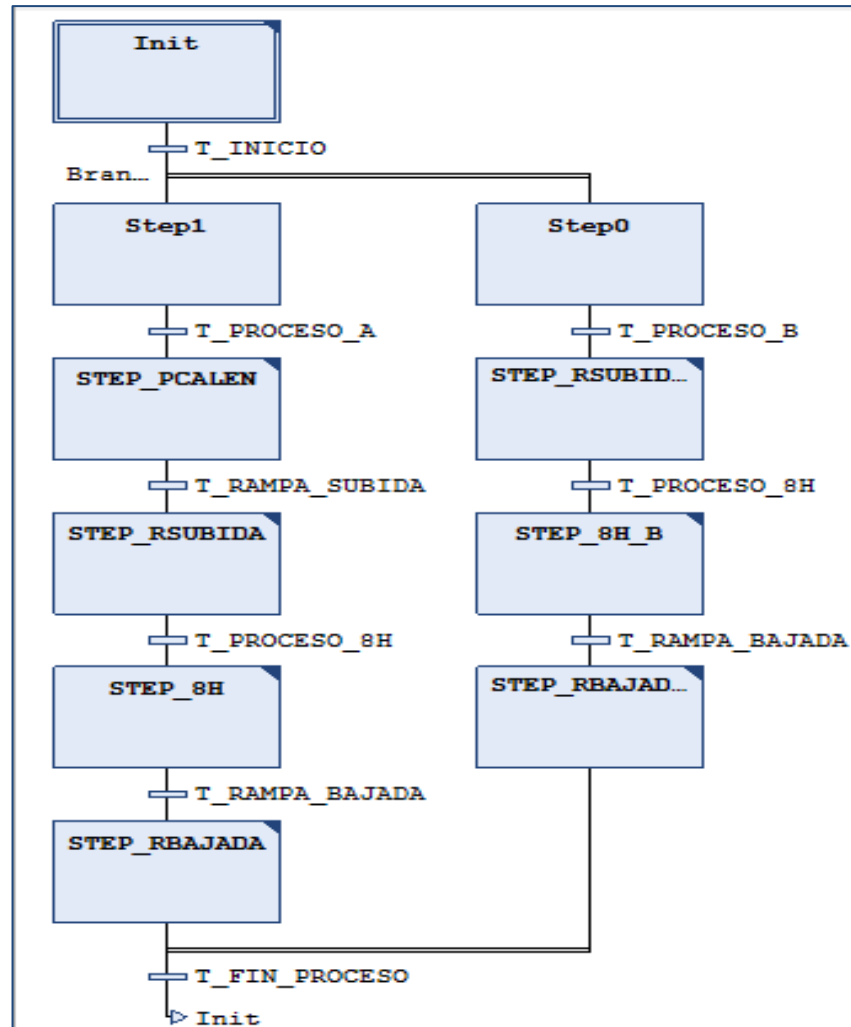


Diagrama N° 16: Programa Principal en PLC.

Fuente: Elaboración propia.

Proceso A: son los programas que representan los segmentos de la curva de tratamiento térmico, pero se inicia con el precalentamiento. Es decir, que las temperaturas de las termocuplas son menores a 102°C. El proceso “A” hace una comparación entre la temperatura real y la de referencia. Una vez que llegue a 102°C, cambia a estado Calentamiento hasta que llegue a 585°C donde pasa a estado de

Mantenimiento, luego del periodo de tiempo programado pasa a estado de Enfriamiento y termina el programa del PLC.

Proceso B: son los programas que representan los segmentos de la curva de tratamiento térmico, pero se inicia con el Calentamiento, porque hace una comparación de temperaturas entre la real y la de referencia. Esto significa que las temperaturas de las termocuplas son iguales o mayores a 102°C. Una vez que llegue a 585°C, cambia a estado de Mantenimiento, luego del periodo de tiempo programado, pasa a estado de Enfriamiento y termina el programa del PLC.

Funcionamiento del Control PID

Dentro del funcionamiento del PLC (*Figura N°30*), se encuentra el Control PID, cuyo trabajo es el de controlar el encendido y apagado de las resistencias para generar una temperatura adecuada, según a la Temperatura de Referencia programada. Es decir que tratara de nivelar las temperaturas: intermedia con la de referencia, durante todo el proceso de tratamiento.

El control de PID envía el error entre las T° referencial y T° intermedia con valor porcentual al PWM (Pulse Width Module) Modulación de Ancho de Banda, lo que está bajo el rango del 0% o 100% (si el error es valor negativo este equivaldrá a 0% y si es mayor a 100, equivale a 100%), este valor porcentual genera un encendido dentro de periodos de 10 segundos. Este control del PID se realiza con el objetivo de cumplir con el diagrama de la curva de tratamiento térmico establecido por el fabricante de las turbinas.

El controlador PID compara la temperatura medida con la de referencia o SetPoint para determinar el error. También estabiliza el funcionamiento dinámico del lazo de control para reducir o eliminar el error.

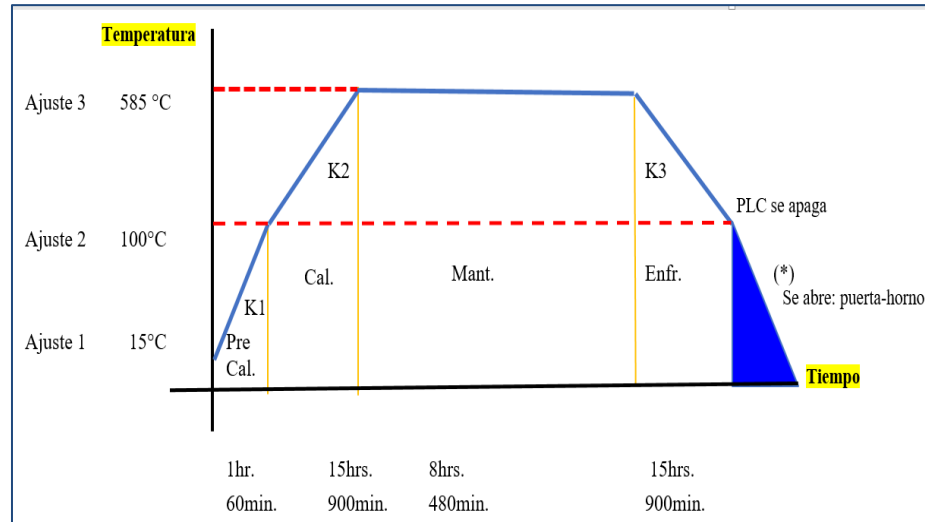


Diagrama N° 17: Curva de Tratamiento Térmico.

(*) el PLC se apaga en el descenso cuando la temperatura llega a 100°C, luego continúa con un enfriamiento natural a puerta a medio abrir, hasta llegar a temperatura ambiente. Véase los anexos G y H

Fuente: Elaboración propia.

Es decir, los 10 segundos son el 100%, si el valor es 20% se encenderá 2 segundos la resistencia y el 80% permanecerá apagada hasta concluir los 10 segundos. Entonces la pregunta del PWM al PID sobre el encendido y apagado de las resistencias eléctricas serán cada 10 segundos.

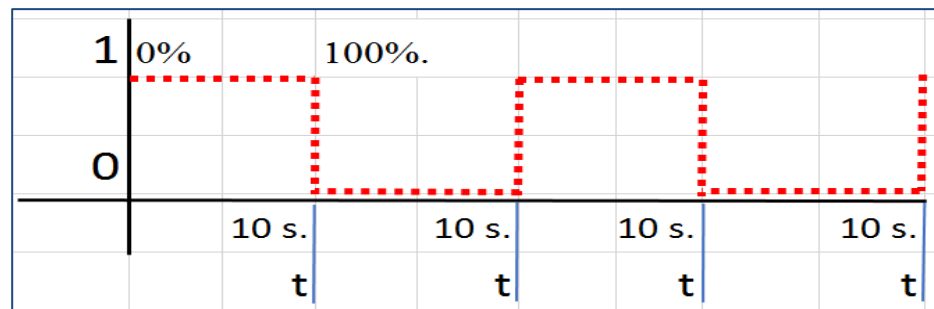


Figura N° 35: Control de resistencias time low – time high.

Fuente: Elaboración propia.

Los Parámetros PID fueron brindados por la empresa EGEMSA, previo un estudio de modelamiento de planta obtenido para el Horno de Tratamiento.

$$U(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{\partial e(t)}{\partial t})$$

Ecuación 4: Ecuación del PID.

K_p = Constante proporcional = ?, T_i = Constante de tiempo integral (s)=?, T_d = Constante de tiempo derivativo (s)=?

Fuente: Apuntes PID.

Obtención de las constantes PID:

Diagrama del sistema

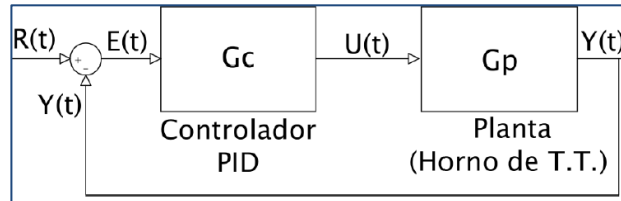


Diagrama N° 18: Diagrama del sistema propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Temperatura en el Horno

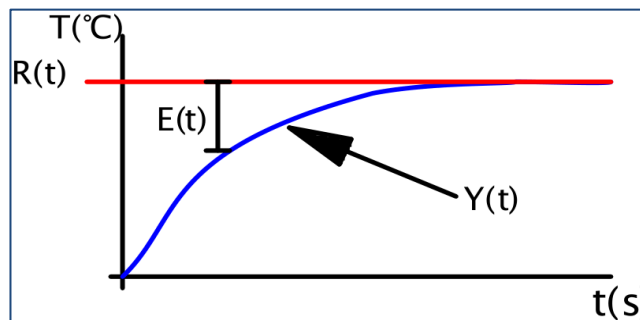


Diagrama N° 19: Evolución de la temperatura dentro del horno.

$Y(t)$ = Temperatura del horno (°C) (Variable controlada),
 $R(t)$ = Temperatura de ajuste (°C), $E(t)$ = Señal de error = $R(t) - Y(t)$, $U(t)$ = Señal de control hacia la planta

Fuente: Elaboración propia.

Función de Transferencia obtenida del Horno (Modelo matemático de la planta)

$$G(s) = \frac{K e^{-Ls}}{\tau s + 1}$$

$$G(s) = \frac{13.705 * e^{-33.254*s}}{1 + 6770.8 * s}$$

Ecuación 5: Función de Transferencia.

Donde $K_p = 13.705$, $T_i = 6770.8$, $T_c = \theta$,
 $\theta = 33.254$.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla de ajuste de parámetros

Process	$g(s)$	K_c	τ_l	τ_D^d
First-order	$k \frac{e^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)}$	$\frac{1}{k} \frac{\tau_l}{\tau_c + \theta}$	$\min\{\tau_l, 4(\tau_c + \theta)\}$	–
Second-order	$k \frac{e^{-\theta s}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$	$\frac{1}{k} \frac{\tau_l}{\tau_c + \theta}$	$\min\{\tau_l, 4(\tau_c + \theta)\}$	τ_2

Diagrama N° 20: Tabla de ajuste de parámetros.

Fuente: EGEMSA.

Valores de los parámetros PID

$$Kp = \frac{\tau_i}{K * (\tau_c + \theta)} = 5.557$$

$$Ti = \min(\tau_i, 4 * (\tau_c + \theta)) = 56.66$$

$$Td = 0$$

Ecuación 6: Cálculo de parámetros PID.

Parámetros obtenidos PID: KP= 5.557, TN=

Ti= 56.66, TV =Td= 0.

Fuente: EGEMSA.

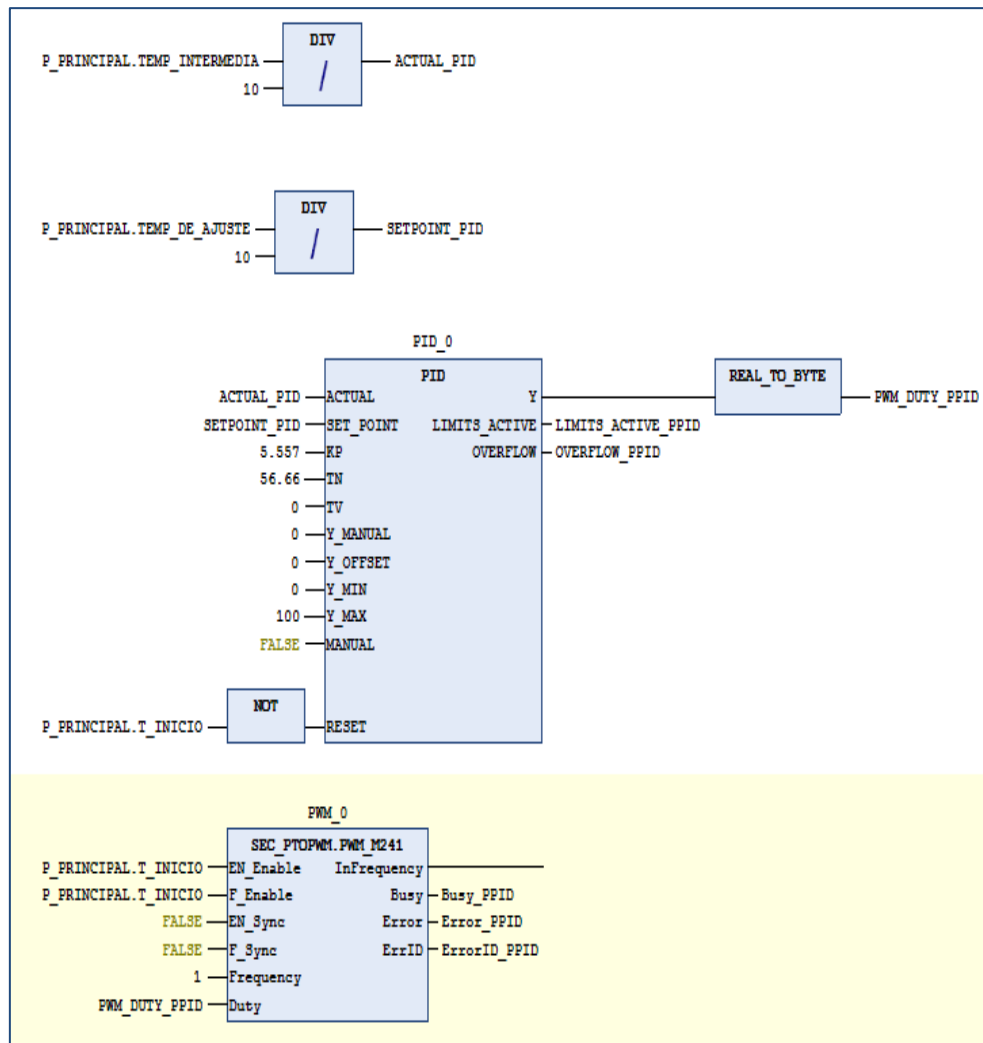


Diagrama N° 21: Control PID y PWM.

Fuente: Elaboración propia.

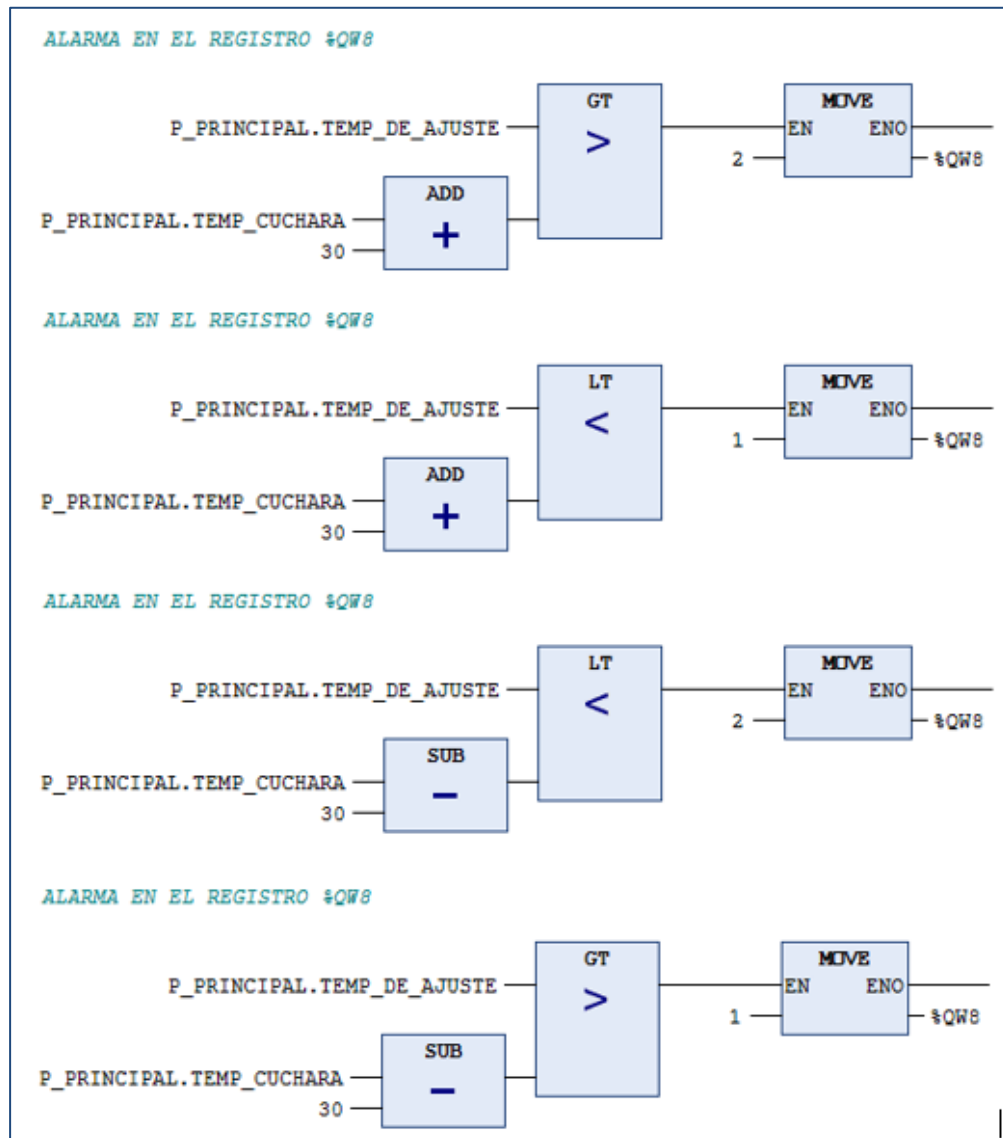
Control de Temperaturas y Alarmas

Como se muestra en el diagrama anterior:

- Si a la temperatura de cuchara se suma 30°C y el resultado es mayor a la temperatura de ajuste entonces se escribe 2 y se enciende la alarma en el registro %QW8 que es un registro creado para enviar al Raspberry Pi.
- Si a la temperatura de cuchara se suma 30°C y el resultado es menor a la temperatura de ajuste entonces se escribe 1 y se mantiene apagado la alarma.

- Si a la temperatura de cuchara se resta 30°C y el resultado menor a la temperatura de ajuste entonces se escribe 2 y se enciende la alarma.
- Si a la temperatura de cuchara se resta 30°C y el resultado mayor a la temperatura de ajuste entonces se escribe 1 y se mantiene apagado la alarma.

Es decir que el rango de variación de temperatura de cuchara con respecto a la temperatura de ajuste (SetPoint) es de +/- 30°C.



Comunicación Entre PLC y Raspberry Pi.

Para la comunicación, el Raspberry cumple la función de maestro y el PLC de esclavo, entonces al configurar el PLC, se debe generar en el SoMachine la dirección IP fija.

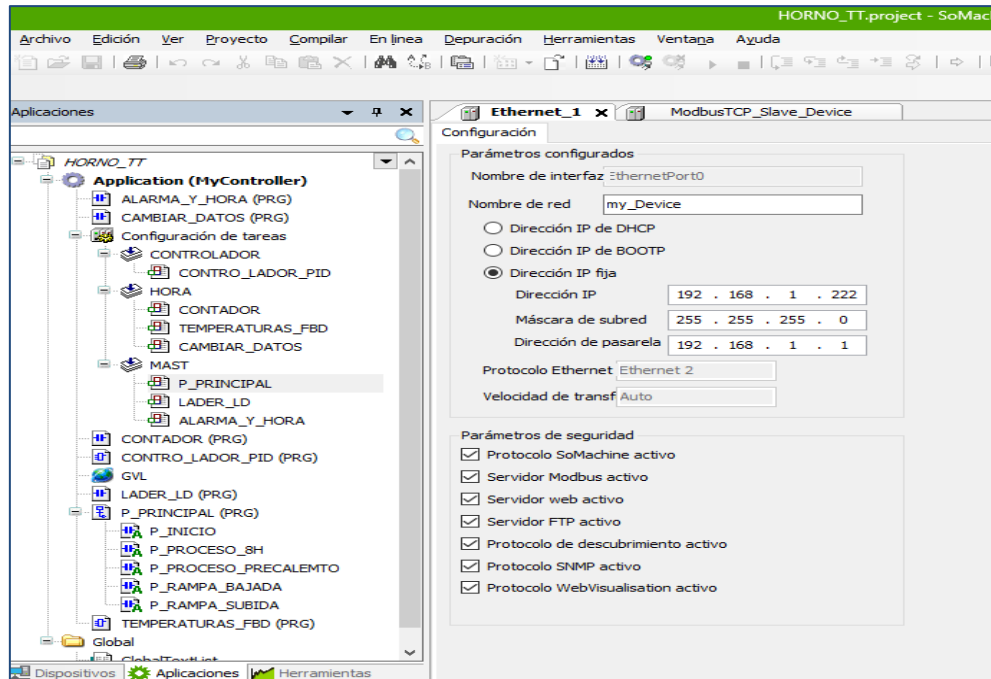


Figura N° 36: Dirección IP del PLC.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se pone la IP del maestro, el tiempo de espera que es de 2000 ms (2000 milisegundos = 2 segundos) que va actualizar la medición de temperatura en el HMI y el número de registros de entrada, es decir que el PLC recibe del módulo analógico y que se van a crear el mismo número de registros para el envío de las temperaturas al maestro. El puerto 502 está reservado para la comunicación Modbus TCP/IP, es obligatorio para escuchar por defecto en este puerto.

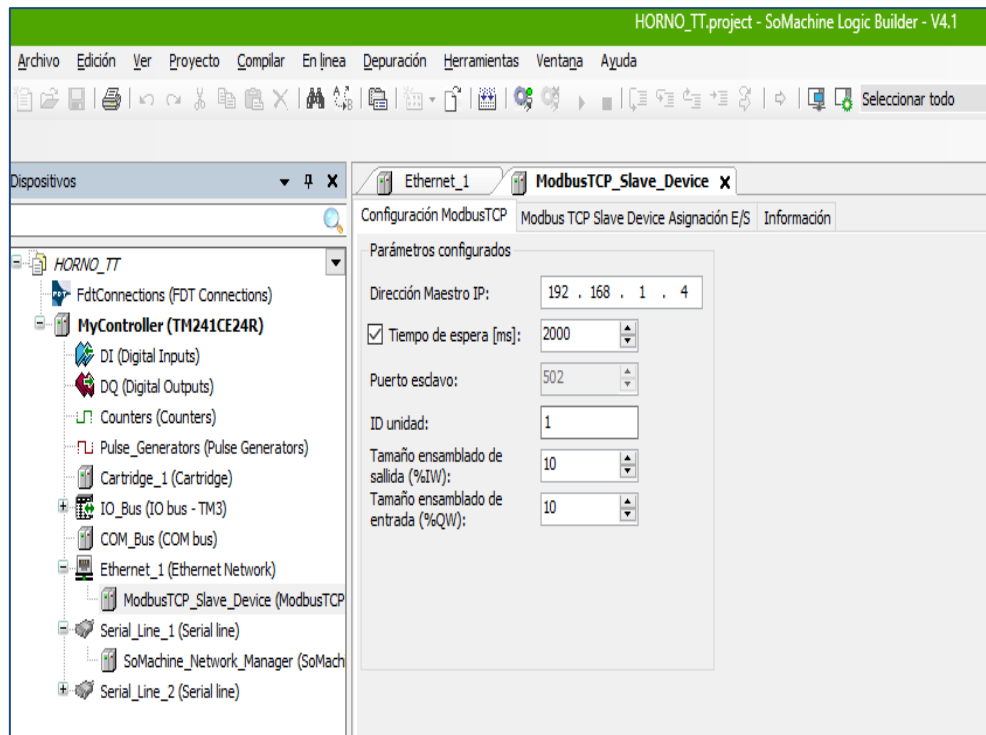


Figura N° 37: Dirección IP del maestro.

Fuente: Elaboración propia.

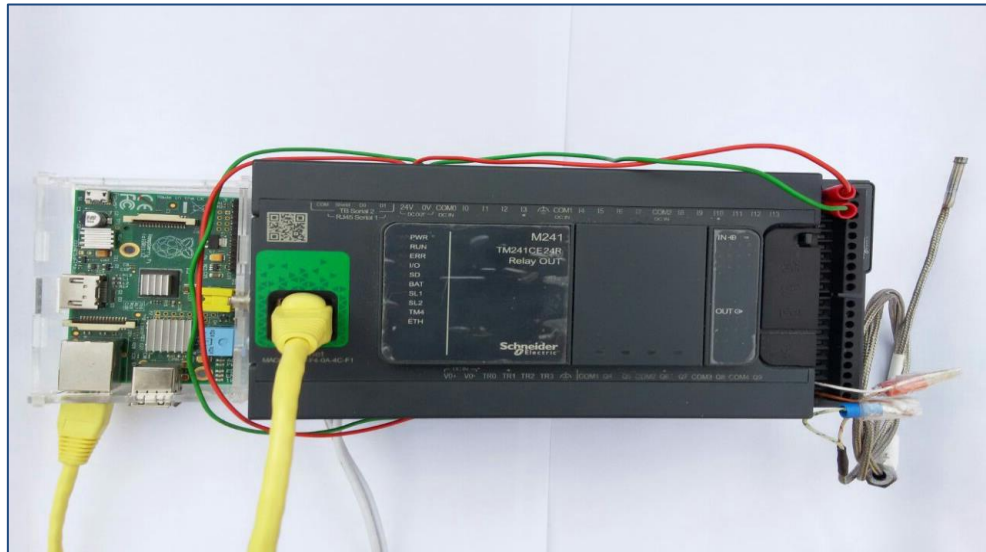


Figura N° 38: Conexión ethernet entre PLC y Raspberry.

Fuente: Elaboración propia.

Para la comunicación importamos la siguiente librería:

```
from pyModbusTCP.client import ModbusClient
```

Figura N° 39: Código para importar librería Modbus.

Fuente: Elaboración propia.

Para gestionar la comunicación entre el Raspberry Pi y el PLC, escribimos el siguiente módulo, ingresando el IP del esclavo:

```
SERVER_HOST = "192.168.1.4"  
SERVER_PORT = 502  
c = ModbusClient()  
c.host(SERVER_HOST)  
c.port(SERVER_PORT)
```

Figura N° 40: Módulo para gestionar la comunicación entre el Raspberry y PLC.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para confirmar la conexión (mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP) en la HMI, generamos el siguiente código:

```
#####--Lectura Modbus Datos--#####  
def lecturamodbus():  
    global M  
    if(M==1):  
        print("Lectura Modbus")  
        global regs  
        global comunicacion_succes  
  
        #Abrir o Reconectar Puerto Modbus  
        if not c.is_open():  
            if not c.open():  
                print("unable to connect to "+SERVER_HOST+": "+str(SERVER_PORT))  
                comunicacion_succes.configure(file= "comuniError.gif")  
  
        # Si el Puerto esta Abierto iniciar Lectura (modbus function 0x03)  
        if c.is_open():  
            # Leer 10 registros en la direccion 10, almacenar en la lista de registros  
            regs = c.read_holding_registers(10, 10)  
            if(regs==None):  
                regs=[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]  
            # Si es exitoso la lectura guardar en las variables  
            if regs:  
                comunicacion_succes.configure(file= "comuniSatis.gif")  
                print("reg ad #0 to 9: "+str(regs))  
  
        M=1  
        threading.Timer(1, lecturamodbus).start() ##Bucle sucesivo de 1 segundo  
        ## Los (threading) hilos de procesamiento nos permiten realizar varias tareas a la vez
```

Figura N° 41: Módulo de lectura de datos Modbus (véase anexo J)

Fuente: Elaboración propia.

El mecanismo de control de acceso se puede activar para comprobar si la dirección IP del cliente remoto está autorizada. La conexión debe mantenerse abierta durante todas las comunicaciones MODBUS.

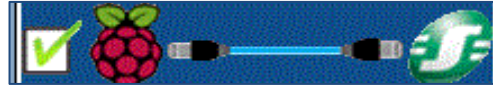


Figura N° 42: Comunicación correcta maestro - esclavo.

Fuente: Elaboración propia.

Si no la se rechaza la nueva conexión.

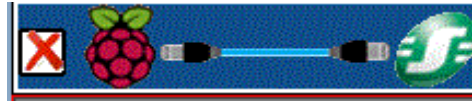


Figura N° 43: Comunicación incorrecta maestro - esclavo.

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de Lectura de Datos desde el PLC y Raspberry

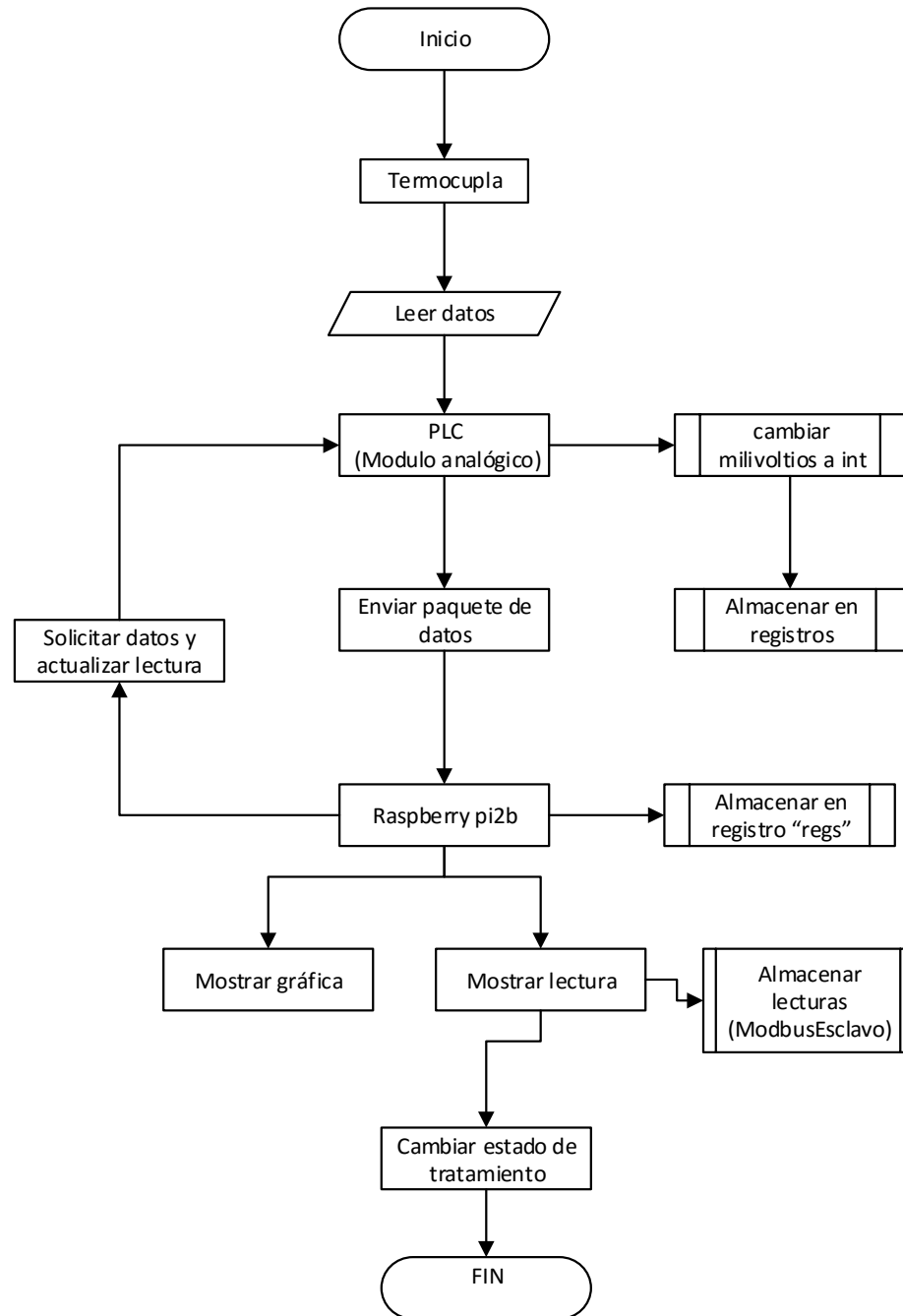


Diagrama N° 23: Lectura y Almacenamiento de datos.
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de Verificación de Alarma desde el PLC

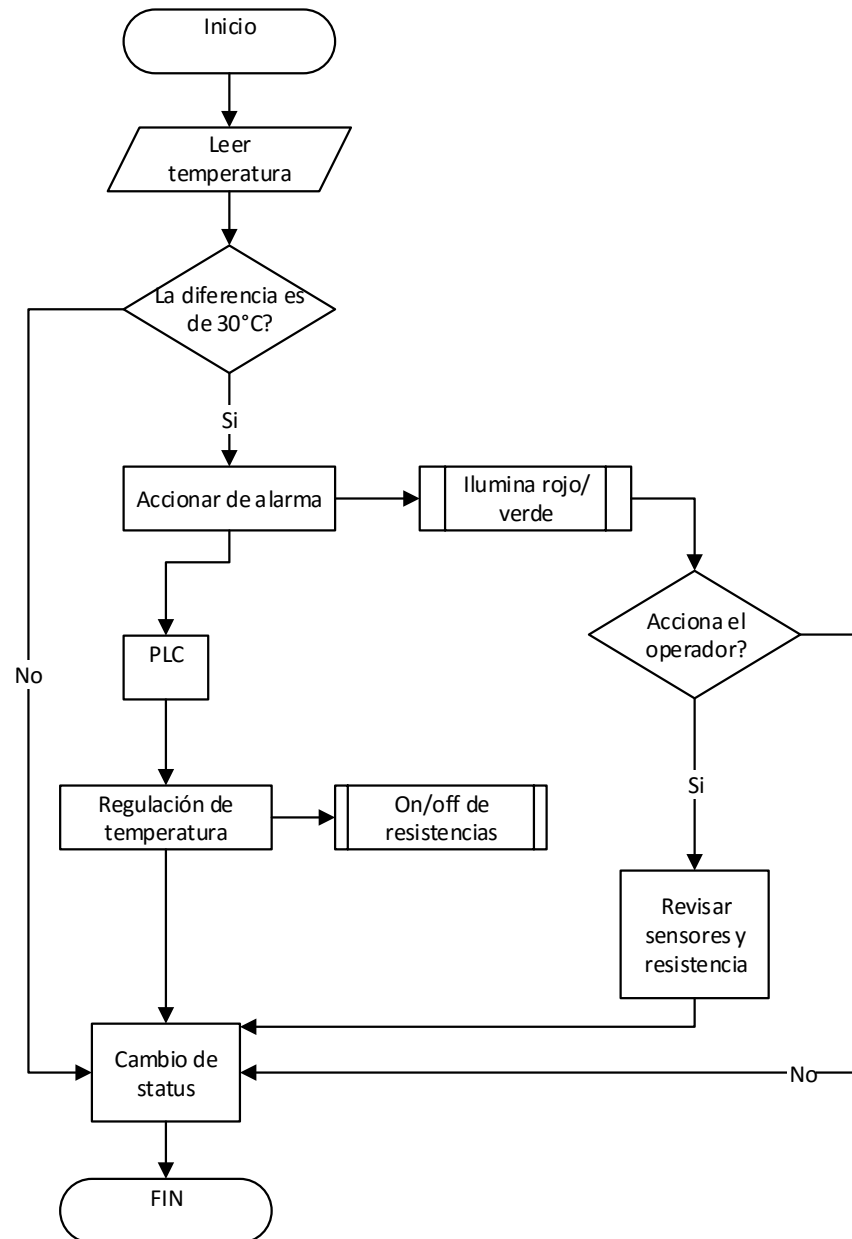


Diagrama N° 24: Verificación de Alarma.

Fuente: Elaboración propia.

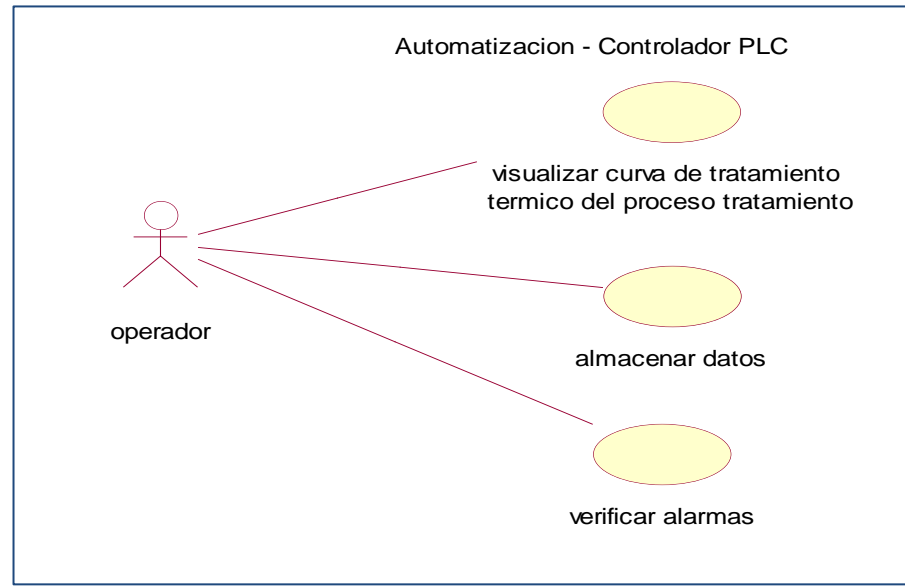
Modelamiento de la interfaz con UML**Diagrama de Caso de Uso**

Diagrama N° 25: Caso de Uso Base de Solución Automatizada.

Fuente: Elaboración propia.

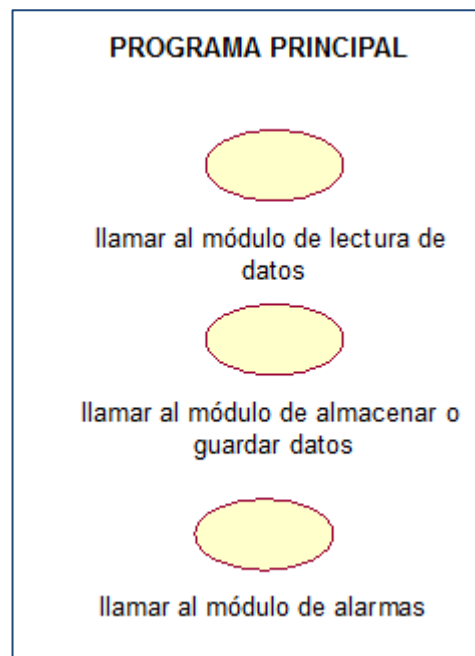
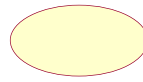


Diagrama N° 26: Programa Principal.

Fuente: Elaboración propia.

**MÓDULO DE CREACIÓN DE INTERFAZ GRÁFICA
TKINTER**



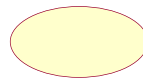
crear matriz (7column.x10rows)



insertar widgets en la matriz



llamar a la función principal



configurar la geometría del interfaz

*Diagrama N° 27: Creación de interfaz gráfica Tkinter
Fuente: Elaboración propia.*

MÓDULO DE GRÁFICA



crear leyenda de temperaturas



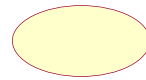
configurar coordenadas "Y", "X"

*Diagrama N° 28: Configuración de la
gráfica.
Fuente: Elaboración propia.*

MÓDULO CREAR ARCHIVO EN EXCEL



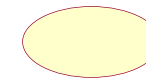
crear archivo excel



crear nombre de archivo



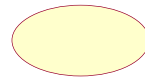
crear hoja excel



etiquetar nombre de columnas

*Diagrama N° 29: Creación de archivo Excel.
Fuente: Elaboración propia.*

MÓDULO DE COMUNICACIÓN MODBUS TCP/IP



ingresar ip del esclavo



ingresar puerto predeterminado de
esclavo



crear registro

*Diagrama N° 30: Comunicación Modbus TCP/IP
Fuente: Elaboración propia.*

MÓDULO LECTURA MODBUS



abrir o reconectar puerto modbus



leer los registros de datos



guardar datos en las variables

*Diagrama N° 31: Lectura Modbus.
Fuente: Elaboración propia.*

MÓDULO GUARDAR DATOS



crear variables



lecturar registro modbus



mostrar fecha y hora

*Diagrama N° 32: Guardar datos.
Fuente: Elaboración propia.*

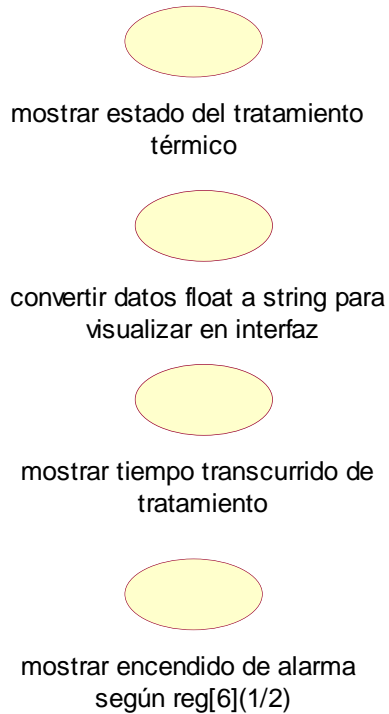
MÓDULO DE ALARMAS Y VISUALIZACIÓN DE DATOS

Diagrama N° 33: Alarma y visualización de datos.
Fuente: Elaboración propia.

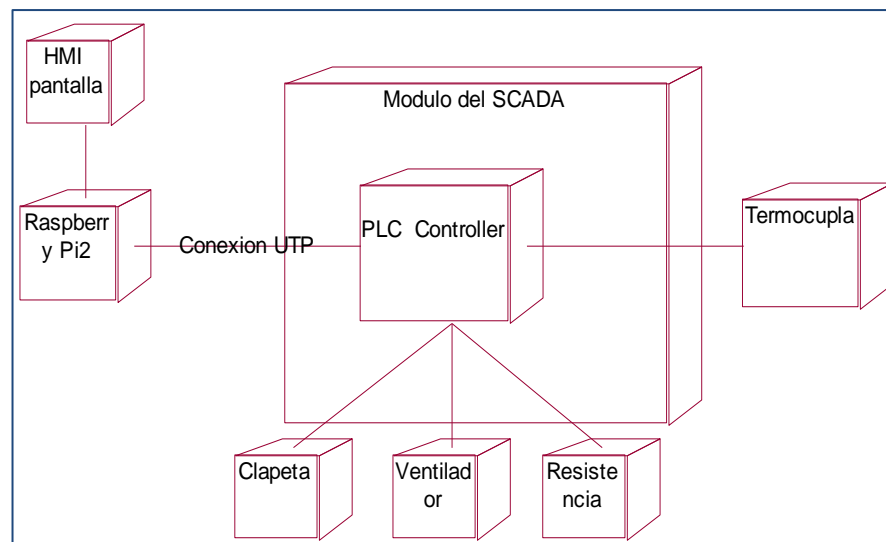
Diagrama de Despliegue del Sistema

Figura N° 44: Sistema de Automatización.
Fuente: Elaboración propia.

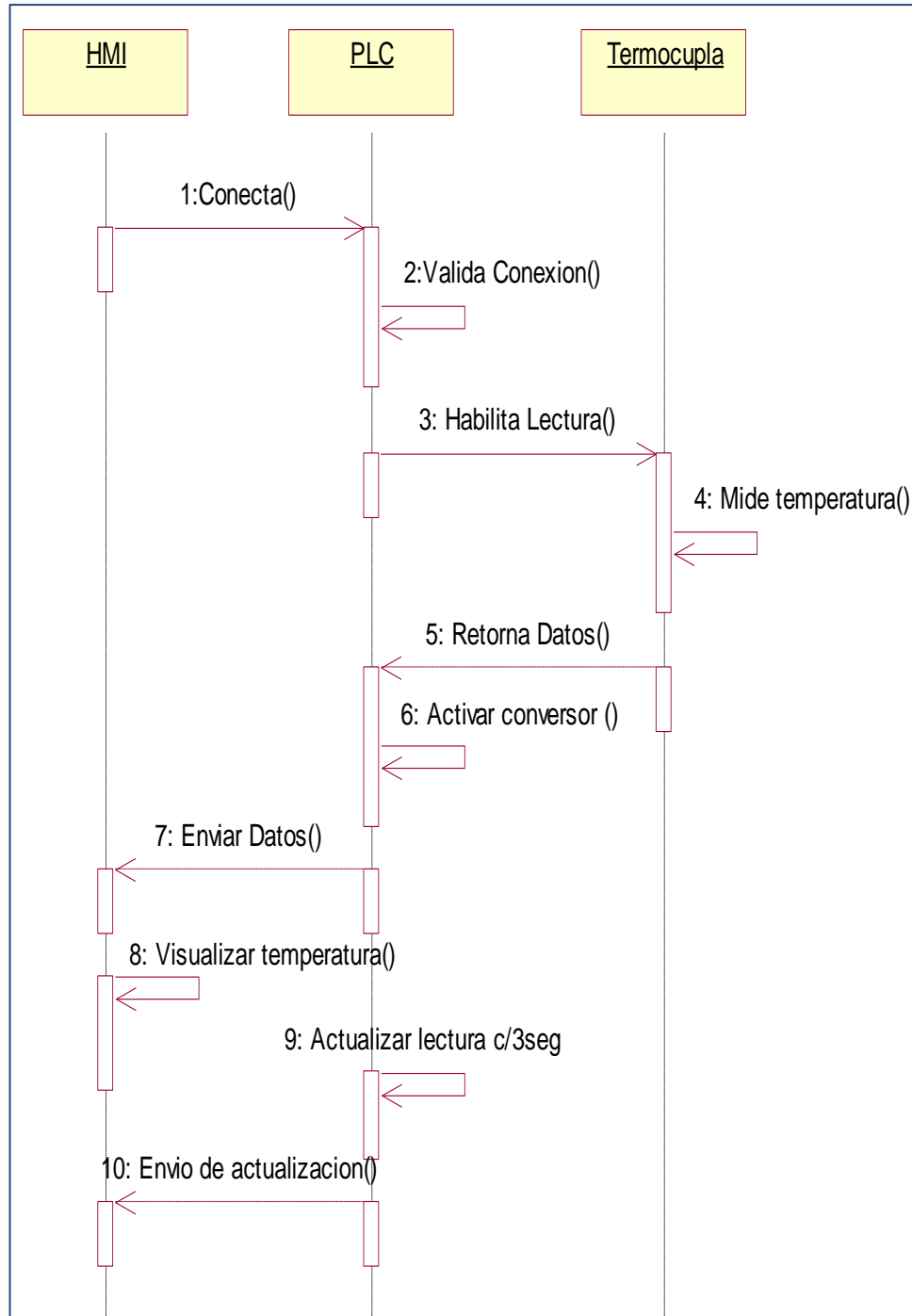
Diagrama de Secuencia de Conexión y Recepción de Datos de Termocuplas

Diagrama N° 34: Conexión y Recepción de Datos de Termocuplas.

Fuente: Elaboración propia.

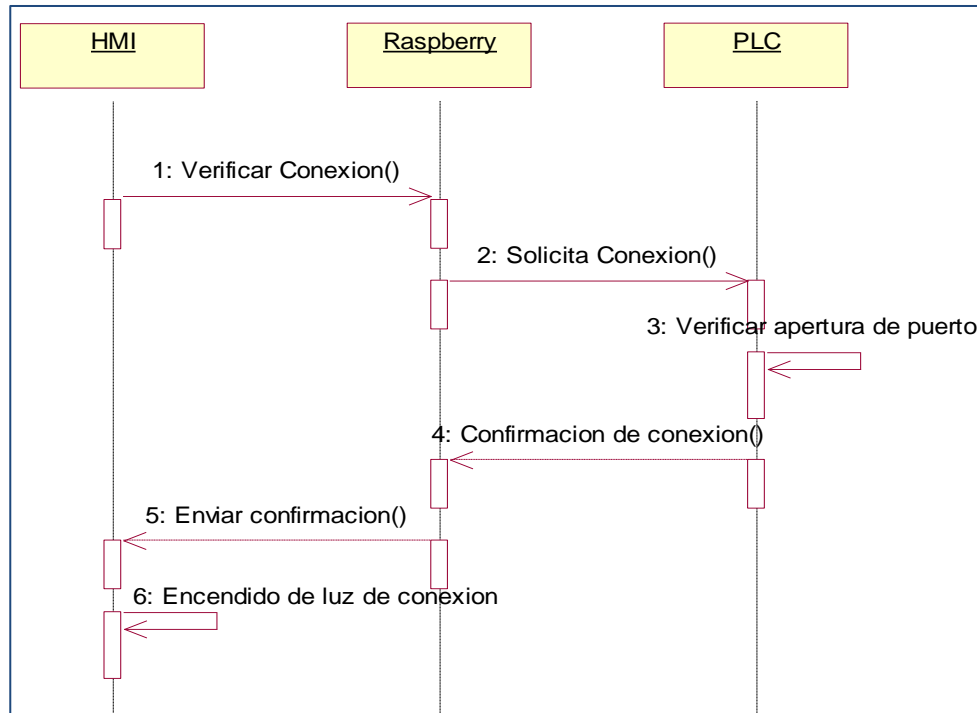
Diagrama de Secuencia de Verificación de Modbus

Diagrama N° 35: Verificación de protocolo de comunicación Modbus.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.3. Diseño de interfaz para la Solución Automatizada**- Desarrollo de Interfaces Gráficas con Tkinter**

- Instalación de la librería Tkinter.
- Ingresar al terminal del Raspberry Pi, con el fin de instalar la librería del Tkinter.

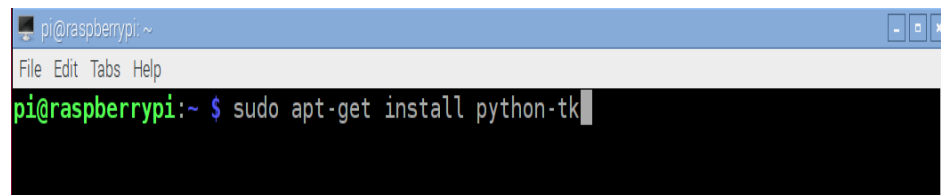


Figura N° 45: Instalación del Tkinter.

Fuente: Elaboración propia.

- Y luego entramos a la Shell de Python e importamos la librería instalada para ser usada.

```
from Tkinter import *
```

Figura N° 46: Importación de librería tkinter.
Fuente: Elaboración propia.

- Librería Pymodbus.Client

- Por medio del uso de esta librería se logra la comunicación entre el Raspberry Pi y el PLC.
- Ingresar al terminal del Raspberry Pi, con el fin de instalar la librería Pymodbus.

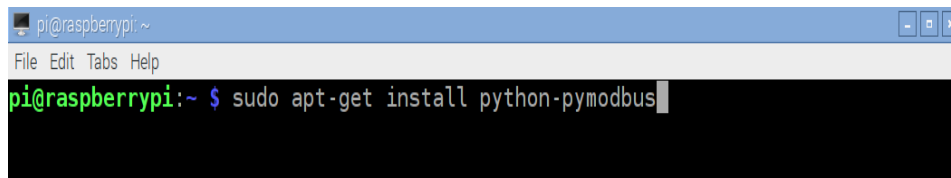


Figura N° 47: Instalación del Pymodbus.
Fuente: Elaboración propia.

- Librería Pandas

Pandas es una librería de Python destinada al análisis de datos, que proporciona unas estructuras de datos flexibles y que permiten trabajar con ellos de forma muy eficiente.

Ingresar al terminal del Raspberry Pi, con el fin de instalar la librería Pandas.

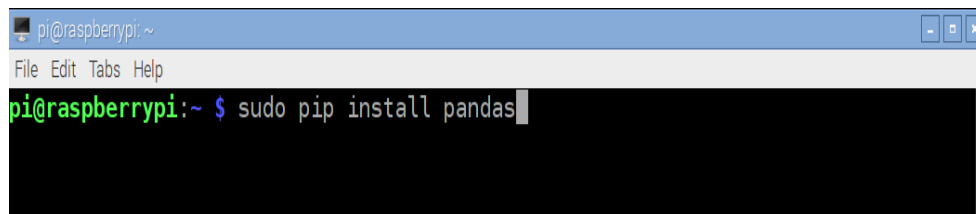


Figura N° 48: Instalación de librería pandas.
Fuente: Elaboración propia.

Para importar la librería instalada ingresamos al Shell de Python

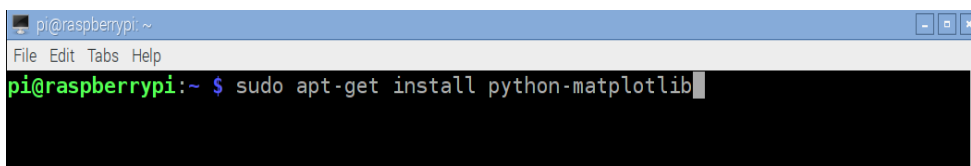
```
import pandas as pd
```

Figura N° 49: Importación de librería pandas.
Fuente: Elaboración propia.

- Librería Matplotlib

Matplotlib trata de hacer las cosas fáciles fácil y cosas difíciles posible. Puede generar gráficos, histogramas, espectros de potencia, gráficos de barras, diagramas de dispersión, errorcharts, etc., con sólo unas pocas líneas de código.

Ingresa al terminal del Raspberry Pi, con el fin de instalar la librería Pandas.



```
pi@raspberrypi:~  
File Edit Tabs Help  
pi@raspberrypi:~ $ sudo apt-get install python-matplotlib
```

Figura N° 50: Instalación de Matplotlib.

Fuente: Elaboración propia.

Para importar la librería instalada ingresamos al Shell de Python

```
import matplotlib
```

Figura N° 51: Importación de la librería Matplotlib.

Fuente: Elaboración propia.

- Gestores De Geometría

Para definir el modo en que deben colocarse los widgets (controles) dentro de una ventana se utilizan los gestores de geometría. En Tkinter existen tres gestores de geometría: pack, grid y place.

	0	1	2	3	4	5	6
0	STATUS	HORNO DE TRATAMIENTO TERMICO					SATIS/ERROR
1	PPRECALEN						GUARDAR
2	MATPLOTLIB						
3							
4							
5							
6							
7							
8	T. AMBIENTE	T.CUACHARA	T.LLANTA	T.ITERMEDIA	T.REFERENCIA	Tiempo	
9	txtAmbiente	txtCuchara	txtLlanta	txtIntermedia	txtReferencia	12:00:00	

Figura N° 52: Método del gestor de geometría grid.

Fuente: Elaboración propia.

- Gestor De Geometría Grid

Esta es la forma de comprender el método grid, utiliza la ventana como si fuera una matriz, y ordena los elementos como entradas de esa matriz.

- Interfaz de Control

En la pantalla principal se visualiza el estado del proceso de tratamiento térmico, la conexión entre el Raspberry Pi2 y el PLC. En la parte inferior de la interfaz esta las lecturas de las temperaturas den los diferentes puntos de control del rodete como son (ambiente, cuchara, llanta). Así mismo en la parte central el gráfico de los segmentos del proceso de tratamiento térmico.



Figura N° 53: Interfaz Completa de la Pantalla Principal.

Fuente: Elaboración Propia.

- Conexión

Podremos ver el estado de conexión del protocolo de comunicación MODBUS entre el PLC y Raspberry, y a continuación presionamos manualmente el botón de encendido del tablero de control eléctrico, así se iniciará el proceso de tratamiento.

- Visualizar Lectura de Temperaturas.

En esta área se visualiza los datos en tiempo real proveniente del horno de tratamiento, con 5 variables de lectura: temperatura ambiente (cámara interna), temperatura de cuchara (alabes del rodete de turbina), temperatura de llanta (parte central del rodete, de mayor espesor), temperatura intermedia, y temperatura de referencia (temperatura programada).

T. Ambiente (C)	T.Cuchara (C)	T. Llanta (C)	T. Intermedia (C)	T. de Referencia (C)
267.0	250.0	300.0	350.0	580.0

Figura N° 54: Área de Visualización de Datos obtenidos en tiempo real.

Fuente: Elaboración propia.

- Visualizar la Gráfica de los Segmentos de Tratamiento Térmico.

En la siguiente figura, las 5 variables de lectura de temperatura representadas por puntos que van graficando cada 1 minuto, durante todo el tiempo del proceso de tratamiento térmico así segmento por segmento.

En la Figura N°46, se muestra en el eje “Y” los rangos de temperatura de 0-700°C y en el eje “X” se muestra la cantidad de datos de 0-2000. Cuando se grafica un punto en la curva de tratamiento térmico, este se genera cada un minuto (Tiempo (minutos)).

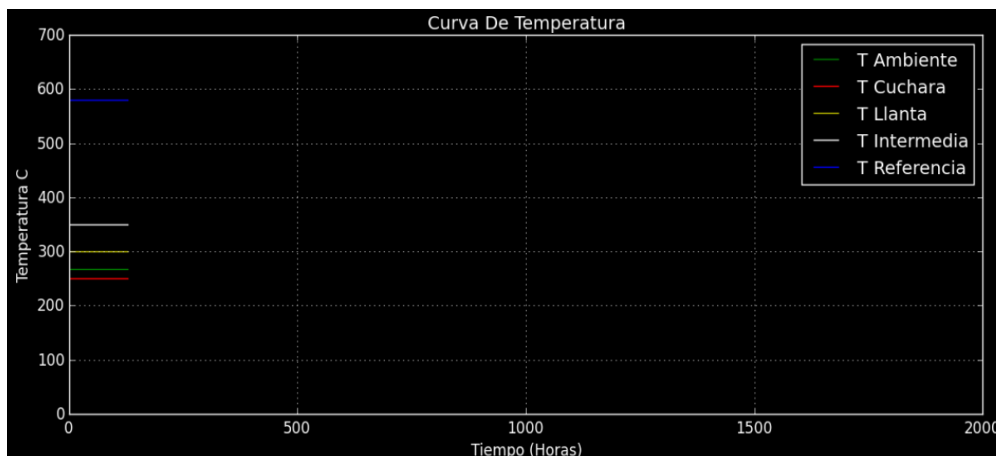


Figura N° 55: Área de Gráfica de Datos.

Fuente: Elaboración propia.

- Visualizar los Estados de los Segmentos.

Los estados del proceso de tratamiento térmico cambian automáticamente según a los parámetros de temperaturas.

STATUS PRECALENTAMIENTO	T° inicio	15°C aprox.
	T° final	102°C
	Recirculación/aire	SI
	Clapetas	NO
	Duración	4 horas
STATUS CALENTAMIENTO	T° inicio	103°C
	T° final	585°C
	Recirculación/aire	SI
	Clapetas	NO
	Duración	6 horas
STATUS MANTENIMIENTO	T° inicio	585°C
	T° final	585°C
	Recirculación/aire	SI
	Clapetas	NO
	Duración	8 horas
STATUS ENFRIAMIENTO	T° inicio	585°C
	T° final	102°C
	Recirculación/aire	SI
	Clapetas	SI
	Duración	16 horas

Figura N° 56: Estados del Segmento de Tratamiento Térmico.

Fuente: Elaboración propia.

- Notación de estados del Protocolo de Comunicación

La “X” representa que no hay conexión del protocolo Modbus, entre el PLC (esclavo) y el Raspberry (maestro).

El aspa confirma la conexión entre el PLC (Modbus esclavo) y Raspberry (Modbus maestro) mediante el protocolo de comunicación de Modbus.

Al confirmar la conexión del protocolo es porque comparten el mismo puerto de enlace y que los datos generados en el PLC han sido solicitados por la Raspberry.



Figura N° 57: Visualización de Conexión PLC - Raspberry Pi 2.

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente botón permite guardar la lectura de datos en un formato .xls para un futuro análisis del tratamiento.



Figura N° 58: Botón Guardar registro de lectura de datos.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Prueba de integración.

Las pruebas de funcionamiento de la solución automatizada para la recolección de datos, se realizaron dos veces; la primera con el controlador actual en el que se recolecto datos, y la segunda con el PLC. Estas pruebas no se hicieron más veces en las instalaciones del Taller de Mantenimiento de la empresa EGEMSA, por los motivos siguientes:

- Los tratamientos térmicos no se realizan continuamente, sino cada 6 a 8 meses.
- El tratamiento demanda un costo de inversión.

3.2.5.1. Procedimiento para el Tratamiento Térmico

- El rodete debe ser colocado en posición horizontal en el interior del horno, permaneciendo las cucharas en el aire.
- Colocar apoyos en la base de las cucharas.
- Colocar las sondas o termocuplas como mínimo en 3 zonas: cuchara, llanta y parte intermedia del rodete.
- Revisar la sonda o sensor de ambiente.

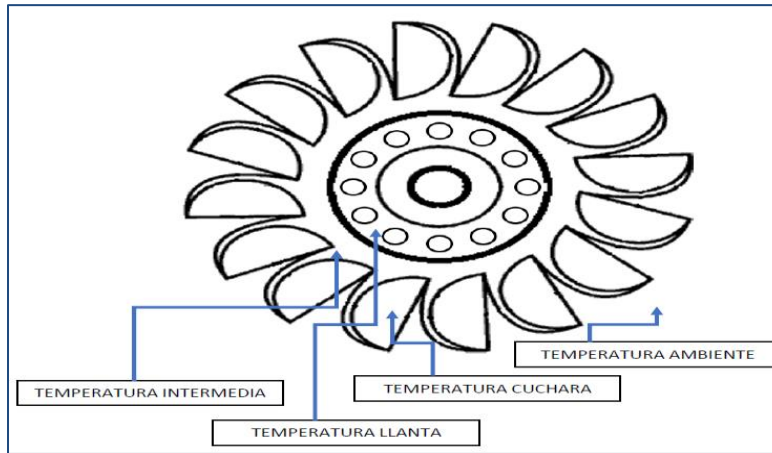
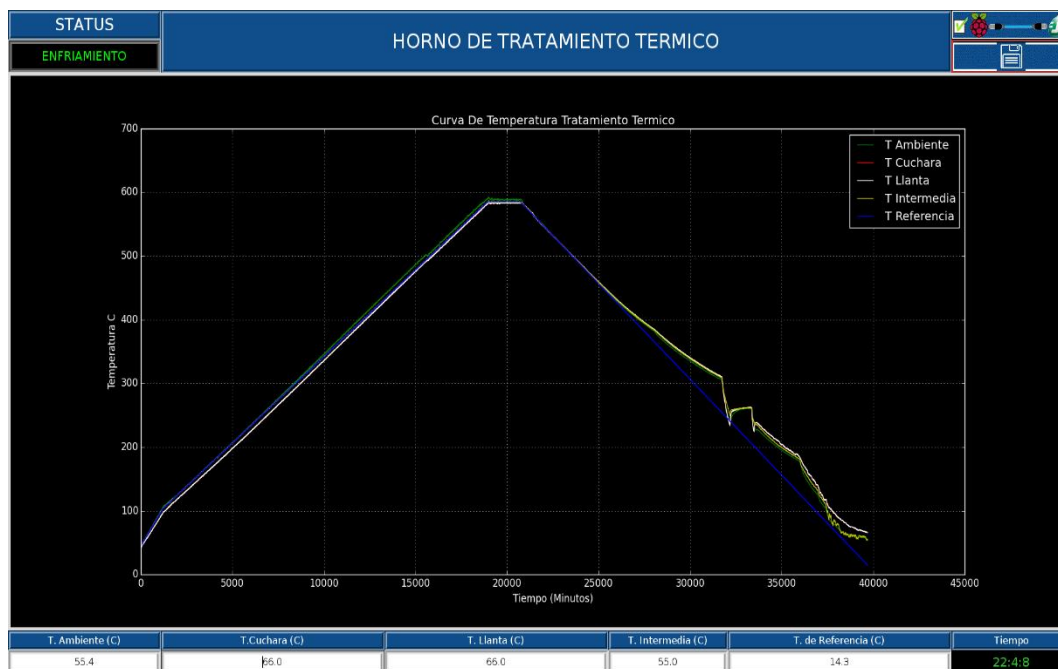


Figura N° 59: Posición de los sensores en el rodete.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.2. Toma de Datos con el PLC



Gráfica N° 2: Curva del tratamiento térmico completa.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE LA TOMA DE DATOS CON LA SOLUCIÓN AUTOMATIZADA

- En la gráfica de curva de tratamiento térmico completo generado por la Solución Automatizada (PLC) (véase Gráfica N°6), se observa que las temperaturas de los diferentes puntos del rodete, hacen un ascenso, mantenimiento y enfriamiento de manera uniforme, es aquí que el control lo realiza el PID y el PWM, reemplazando la labor del operador, puesto que si el horno requiere más temperatura ordena al encendido de las resistencias caso contrario las mantiene apagadas, así mejora la curva de tratamiento térmico. La uniformidad del recorrido de las temperaturas permite que se liberen las tensiones del rodete de manera óptima.

Las variaciones en el enfriamiento (véase Gráfica N°6), se debe a que se apertura un 40% aproximadamente la puerta vertical del horno para que ayude al enfriamiento porque no cuenta con equipos de enfriamiento.

- En el interfaz de la Raspberry Pi se puede observar en tiempo real la actualización de los datos y el graficador de la curva de tratamiento también en tiempo real.
- La interfaz de la Raspberry Pi muestra los cambios del proceso de tratamiento térmico.
- Los segmentos del proceso de tratamiento térmico obtenido son los siguientes:

- Segmento de Precalentamiento

Este segmento inicia con la temperatura ambiente del rodete de la turbina. En el archivo .xls va almacenar varias variables como: la fecha (día/mes/año) (columna A), la hora del día (columna A), el número de datos registrados (columna B), la temperatura ambiente (columna C), temperatura de cuchara (alabes de rodete) (columna D), temperatura de llanta (columna E), temperatura intermedia (columna F), temperatura de referencia (columna G).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Tiempo	N	T Ambiente	T Cuchara	T Llanta	T Intermedia	T Referencia	
2	8/10/2016 12:09:12	1	45.1	43.4	43.4	45.3	45.3 A	
3	8/10/2016 12:09:14	2	45.1	43.4	43.4	45.3	45.3	
4	8/10/2016 12:09:16	3	45.1	43.3	43.3	45.3	45.2	
5	8/10/2016 12:09:18	4	45.1	43.2	43.2	45.2	45.2	
6	8/10/2016 12:09:20	5	45.1	43.3	43.3	45.2	45.2	
7	8/10/2016 12:09:22	6	45.1	43.3	43.3	45.2	45.2	
8	8/10/2016 12:09:24	7	45.2	43.4	43.4	45.3	45.3	
9	8/10/2016 12:09:26	8	45.3	43.6	43.6	45.3	45.3	
10	8/10/2016 12:09:28	9	45.3	43.5	43.5	45.3	45.3	
11	8/10/2016 12:09:30	10	45.3	43.4	43.4	45.2	45.2	
12	8/10/2016 12:09:32	11	45.3	43.4	43.4	45.2	45.2	
13	8/10/2016 12:09:34	12	45.3	43.5	43.5	45.2	45.2	
14	8/10/2016 12:09:36	13	45.4	43.5	43.5	45.2	45.2	
15	8/10/2016 12:09:38	14	45.3	43.4	43.4	45.2	45.2	
16	8/10/2016 12:09:40	15	45.3	43.4	43.4	45.1	45.2	
17	8/10/2016 12:09:42	16	45.4	43.5	43.5	45.2	45.1	

Tabla 11: Inicio del Segmento de Precalentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

El precalentamiento finaliza cuando la temperatura es igual o mayor a los 102°C, cuando la temperatura intermedia alcanza a la temperatura de referencia.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1161	8/10/2016 12:47:50	1160	103.2	94.5	94.5	101.4	101.8	
1162	8/10/2016 12:47:52	1161	103.2	94.5	94.5	101.4	101.8	
1163	8/10/2016 12:47:54	1162	103.3	94.7	94.7	101.5	101.8	
1164	8/10/2016 12:47:56	1163	103.3	94.6	94.6	101.5	101.8	
1165	8/10/2016 12:47:58	1164	103	94.5	94.5	101.4	101.8	
1166	8/10/2016 12:48:00	1165	102.9	94.4	94.4	101.4	101.8	
1167	8/10/2016 12:48:02	1166	103	94.6	94.6	101.5	101.8	
1168	8/10/2016 12:48:04	1167	103.1	94.6	94.6	101.5	101.8	
1169	8/10/2016 12:48:06	1168	103.2	94.6	94.6	101.5	101.8	
1170	8/10/2016 12:48:08	1169	103.7	94.8	94.8	101.7	101.8	
1171	8/10/2016 12:48:10	1170	103.6	95.1	95.1	101.9	101.8 A	
1172	8/10/2016 12:48:12	1171	103.6	95	95	101.9	101.8	
1173	8/10/2016 12:48:14	1172	103.6	95	95	101.9	101.8	
1174	8/10/2016 12:48:16	1173	103.7	95	95	101.9	101.8	
1175	8/10/2016 12:48:18	1174	103.7	95.2	95.2	102	101.8	
1176	8/10/2016 12:48:20	1175	104.1	95.3	95.3	102.2	102.6	
1177	8/10/2016 12:48:22	1176	104.1	95.2	95.2	102.1	102.6	

Tabla 12: Fin del Segmento de Precalentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Segmento de Calentamiento

Este segmento se inicia a los 102°C y finaliza a los 585°C.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1175	8/10/2016 12:48:18	1174	103.7	95.2	95.2	102	101.8	
1176	8/10/2016 12:48:20	1175	104.1	95.3	95.3	102.2	102.6	
1177	8/10/2016 12:48:22	1176	104.1	95.2	95.2	102.1	102.6	
1178	8/10/2016 12:48:24	1177	104.1	95.2	95.2	102.2	102.6	
1179	8/10/2016 12:48:26	1178	104.1	95.4	95.4	102.3	102.6	
1180	8/10/2016 12:48:28	1179	104.4	95.3	95.3	102.4	102.6	
1181	8/10/2016 12:48:30	1180	104.1	95.3	95.3	102.4	102.6	
1182	8/10/2016 12:48:32	1181	104.2	95.4	95.4	102.4	102.6	
1183	8/10/2016 12:48:34	1182	104.2	95.5	95.5	102.6	102.6	
1184	8/10/2016 12:48:36	1183	104.3	95.5	95.5	102.6	102.6	
1185	8/10/2016 12:48:38	1184	104.8	95.3	95.3	102.8	103.4	
1186	8/10/2016 12:48:40	1185	104.7	95.4	95.4	102.8	103.4	
1187	8/10/2016 12:48:42	1186	104.7	95.5	95.5	102.8	103.4	
1188	8/10/2016 12:48:44	1187	104.7	95.7	95.7	102.9	103.4	
1189	8/10/2016 12:48:46	1188	104.7	95.8	95.8	103	103.4	
1190	8/10/2016 12:48:48	1189	104.9	95.8	95.8	103.1	103.4	
1191	8/10/2016 12:48:50	1190	104.7	95.8	95.8	103	103.4	

Tabla 13: Inicio del Segmento de Calentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G	H
18936	8/10/2016 22:40:20	18935	590.1	581.7	581.7	584.5	584.8	
18937	8/10/2016 22:40:22	18936	590	581.6	581.6	584.4	584.8	
18938	8/10/2016 22:40:24	18937	590.1	581.7	581.7	584.5	584.8	
18939	8/10/2016 22:40:26	18938	590.1	581.7	581.7	584.5	584.8	
18940	8/10/2016 22:40:28	18939	590	581.7	581.7	584.3	584.8	
18941	8/10/2016 22:40:30	18940	589.7	581.5	581.5	584.3	584.8	
18942	8/10/2016 22:40:32	18941	589.9	581.8	581.8	584.4	584.8	
18943	8/10/2016 22:40:34	18942	590	581.8	581.8	584.5	584.8	
18944	8/10/2016 22:40:36	18943	590.1	581.8	581.8	584.5	584.8	
18945	8/10/2016 22:40:38	18944	590	581.7	581.7	584.4	584.8	
18946	8/10/2016 22:40:40	18945	589.8	581.6	581.6	584.4	584.8	
18947	8/10/2016 22:40:42	18946	590.1	581.9	581.9	584.6	584.8	
18948	8/10/2016 22:40:44	18947	590.2	581.9	581.9	584.6	584.8	
18949	8/10/2016 22:40:46	18948	590.2	581.9	581.9	584.6	584.8	
18950	8/10/2016 22:40:48	18949	590.7	582.2	582.2	584.9	584.8	
18951	8/10/2016 22:40:50	18950	590.6	582.4	582.4	584.9	584.8	
18952	8/10/2016 22:40:52	18951	590.7	582.3	582.3	585	585	

Tabla 14: Fin del Segmento de Calentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Segmento de Mantenimiento

Este segmento se inicia a los 585°C y finaliza a los 585°C, es decir se va a mantener con la temperatura para que se realice una fusión entre la pieza original del rodete con la soldadura. Facilitando la desaparición de la porosidad que se va podido generar.

	A	B	C	D	E	F	G	H
18952	8/10/2016 22:40:52	18951	590.7	582.3	582.3	585	585	
18953	8/10/2016 22:40:54	18952	590.6	582.2	582.2	584.9	585	
18954	8/10/2016 22:40:56	18953	590.7	582.3	582.3	584.9	585	
18955	8/10/2016 22:40:58	18954	590.6	582.1	582.1	584.6	585	
18956	8/10/2016 22:41:00	18955	590.3	581.9	581.9	584.2	585	
18957	8/10/2016 22:41:02	18956	590.3	581.9	581.9	584.3	585	
18958	8/10/2016 22:41:04	18957	590.4	581.9	581.9	584.3	585	
18959	8/10/2016 22:41:06	18958	590.5	581.8	581.8	584.4	585	
18960	8/10/2016 22:41:08	18959	590.4	581.9	581.9	584.7	585	
18961	8/10/2016 22:41:10	18960	589.6	581.8	581.8	584.4	585 A	
18962	8/10/2016 22:41:12	18961	590.1	581.9	581.9	584.6	585	
18963	8/10/2016 22:41:14	18962	590.3	582.1	582.1	584.9	585	
18964	8/10/2016 22:41:16	18963	590.5	582.3	582.3	585	585	
18965	8/10/2016 22:41:18	18964	590.7	582.5	582.5	585.2	585	
18966	8/10/2016 22:41:20	18965	591	582.4	582.4	585.3	585	
18967	8/10/2016 22:41:22	18966	591	582.4	582.4	585.3	585	
18968	8/10/2016 22:41:24	18967	591.1	582.5	582.5	585.4	585	

Tabla 15: Inicio del Segmento de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G	H
20737	8/10/2016 23:40:22	20736	588.4	582.7	582.7	584.8	585	
20738	8/10/2016 23:40:24	20737	588.4	582.6	582.6	584.8	585	
20739	8/10/2016 23:40:26	20738	588.4	582.8	582.8	584.9	585	
20740	8/10/2016 23:40:28	20739	588.4	582.7	582.7	584.8	585	
20741	8/10/2016 23:40:30	20740	588.5	582.9	582.9	584.9	585	
20742	8/10/2016 23:40:32	20741	588.5	583	583	584.9	585	
20743	8/10/2016 23:40:34	20742	588.5	583.1	583.1	585	585	
20744	8/10/2016 23:40:36	20743	588.5	583	583	585	585	
20745	8/10/2016 23:40:38	20744	588.3	582.8	582.8	584.8	585	
20746	8/10/2016 23:40:40	20745	588.3	582.8	582.8	584.8	585	
20747	8/10/2016 23:40:42	20746	588.3	582.9	582.9	584.8	585	
20748	8/10/2016 23:40:44	20747	588.3	582.9	582.9	584.9	585	
20749	8/10/2016 23:40:46	20748	588.2	583.1	583.1	584.8	585	
20750	8/10/2016 23:40:48	20749	588.4	583	583	584.9	585	
20751	8/10/2016 23:40:50	20750	588.3	582.9	582.9	584.9	585	
20752	8/10/2016 23:40:52	20751	588.3	583	583	584.9	585	
20753	8/10/2016 23:40:54	20752	588.5	584.9	584.9	584.9	584.1	

Tabla 16: Fin del Segmento de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Segmento de Enfriamiento

Este segmento se inicia a los 585°C y finaliza a los 100°C cuando el PLC termina su control y se apaga. Luego el enfriamiento se da con la puerta del horno a medio abrir hasta llegar a temperatura ambiente.

	A	B	C	D	E	F	G	H
20752	8/10/2016 23:40:52	20751	588.3	583	583	584.9	585	
20753	8/10/2016 23:40:54	20752	588.5	584.9	584.9	584.9	584.1	
20754	8/10/2016 23:40:56	20753	588.6	584.9	584.9	584.9	584.1	
20755	8/10/2016 23:40:58	20754	588.7	584.6	584.6	584.6	584.1	
20756	8/10/2016 23:41:00	20755	588.7	584.6	584.6	584.6	584.1	
20757	8/10/2016 23:41:02	20756	588.8	584.6	584.6	584.6	584.1	
20758	8/10/2016 23:41:04	20757	588.9	584.4	584.4	584.4	584.1	
20759	8/10/2016 23:41:06	20758	589	584.4	584.4	584.4	584.1	
20760	8/10/2016 23:41:08	20759	588.9	584.5	584.5	584.5	584.1	
20761	8/10/2016 23:41:10	20760	588.9	584.5	584.5	584.5	584.1 A	
20762	8/10/2016 23:41:12	20761	589	584.4	584.4	584.4	584.1	
20763	8/10/2016 23:41:14	20762	588.7	584.3	584.3	584.3	584.1	
20764	8/10/2016 23:41:16	20763	588.7	584.3	584.3	584.3	584.1	
20765	8/10/2016 23:41:18	20764	588.7	584.5	584.5	584.5	584.1	
20766	8/10/2016 23:41:20	20765	588.7	584.5	584.5	584.5	584.1	
20767	8/10/2016 23:41:22	20766	588.7	584.4	584.4	584.4	584.1	
20768	8/10/2016 23:41:24	20767	588.7	584.5	584.5	584.5	584.1	

Tabla 17: Inicio del Segmento de Enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G	H
39711	9/10/2016 10:12:50	39710	55	65.3	65.3	53.4	14.3	
39712	9/10/2016 10:12:52	39711	55	65.3	65.3	53.4	14.3	
39713	9/10/2016 10:12:54	39712	55	65.3	65.3	53.4	14.3	
39714	9/10/2016 10:12:56	39713	55.1	65.4	65.4	53.4	14.3	
39715	9/10/2016 10:12:58	39714	55	65.4	65.4	53.4	14.3	
39716	9/10/2016 10:13:00	39715	55.1	65.4	65.4	53.5	14.3	
39717	9/10/2016 10:13:02	39716	55	65.3	65.3	53.4	14.3	
39718	9/10/2016 10:13:04	39717	55.1	65.4	65.4	53.6	14.3	
39719	9/10/2016 10:13:06	39718	55.1	65.5	65.5	53.7	14.3	
39720	9/10/2016 10:13:08	39719	55.2	65.7	65.7	53.9	14.3	
39721	9/10/2016 10:13:10	39720	55.2	65.8	65.8	54.1	14.3 A	
39722	9/10/2016 10:13:12	39721	55.3	65.8	65.8	54.3	14.3	
39723	9/10/2016 10:13:14	39722	55.2	65.8	65.8	54.4	14.3	
39724	9/10/2016 10:13:16	39723	55.3	65.8	65.8	54.6	14.3	
39725	9/10/2016 10:13:18	39724	55.3	65.9	65.9	54.8	14.3	
39726	9/10/2016 10:13:20	39725	55.4	66	66	55	14.3	

Tabla 18: Fin del Segmento de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Curva de Tratamiento Térmico



Gráfica N° 3: Segmento de Precalentamiento.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica N° 4: Segmento de Calentamiento.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica N° 5: Segmento de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica N° 6: Segmento de Enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

Teniendo el resultado de las pruebas realizadas con el sistema de control actual – DICON JUMO y con la propuesta del sistema de Solución Automatizada, tenemos lo siguiente:

Sist. Actual – Controlador Jumo Dicon	Sist. Propuesto – Solución Automatizada PLC/RaspberryPi
<p>1.- El controlador actual de la empresa muestra lecturas digitales que van actualizándose, pero no muestra una interfaz amigable al operador sobre el recorrido de la curva de tratamiento térmico.</p> <p>El controlador actual no presenta los cambios de los estados del tratamiento térmico mediante una interfaz.</p> <p>2.- Durante el proceso a cargo del controlador JUMO, se observa que existe un margen de error alto en la curva de tratamiento térmico (segmento de ascenso, mantenimiento y descenso) porque existe inestabilidad, ya que la temperatura de ajuste o referencia es superada por la temperatura intermedia y la temperatura de cuchara, este inconveniente involucra a que el operador tenga que monitorear haciendo comparaciones de las temperaturas para saber si las diferencias excedan o no a los 30°C, si fuese así tiene que apagar y encender las resistencias.</p>	<p>1.- La solución automatizada presenta una interfaz amigable para el operador por las siguientes razones: se puede observar en tiempo real la actualización de los datos y el graficador de la curva de tratamiento. La interfaz de la Raspberry Pi muestra los cambios del proceso de tratamiento térmico como también la conexión del protocolo de comunicación Modbus TCP/IP.</p> <p>2.- Las temperaturas de los diferentes puntos del rodete, hacen un ascenso, mantenimiento y enfriamiento de manera uniforme, es aquí que el control lo realiza el PID y el PWM, reemplazando la labor del operador, puesto que si el horno requiere más temperatura ordena al encendido de las resistencias caso contrario las mantiene apagadas, así reduce el margen de error y mejora la curva de tratamiento térmico. La uniformidad del recorrido de las temperaturas permite que se liberen las tensiones del rodete de manera óptima.</p> <p>3.- El almacenamiento de los datos en archivos xls., facilita el análisis del</p>



3.- Cuenta con un almacenamiento de datos que no es de fácil acceso para el responsable, puesto que para extraer los datos almacenados tiene que hacer instalaciones de cableado, realizar configuraciones en la herramienta Modbus Poll y Slave.	comportamiento de las temperaturas en cada segmento de la curva de tratamiento térmico.
---	---

5.1. DEMOSTRACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El resultado de la demostración de la hipótesis es POSITIVO, puesto que se solucionó el control del proceso de tratamiento térmico.

GLOSARIO

Algoritmo: Es una secuencia de pasos (instrucciones o reglas) para llevar a cabo una tarea específica. Estos son independientes de los lenguajes de programación como de la maquina en que se ejecuta.

Cavitación: Se define como la formación de vacíos dentro de un cuerpo de movimiento líquido (o alrededor de un cuerpo moviéndose dentro del líquido) cuando la presión local es menor que la presión de vapor y las partículas del líquido tienden a adherirse a los bordes de la trayectoria de paso del líquido. La cavitación se asocia a tres condiciones, alta velocidad de flujo, bajas presiones y cambios abruptos en la dirección del flujo. La cavitación causa erosión de las superficies de los cuerpos sometidos a presión de vacío.

Clapeta: Es una electroválvula accionada neumáticamente, cuenta con dos mariposas de bronce que dejan salir el aire caliente del horno de tratamiento térmico. Están ubicadas en la parte superior del horno.

DCS: (Distributed Control System), o sistema de control distribuido, es un sistema de control de un proceso (de una planta industrial) formado por una red de controladores. Un DCS está orientado al control en tiempo real del proceso.

Energía cinética: Es la energía o movimiento asociada a los cuerpos que se encuentran en movimiento.

Energía hidráulica: Hace referencia a la energía que es generada por medio de caudales de agua. La ley de Bernoulli para un flujo de agua sin fricción, establece que la energía total de una masa de agua permanece constante cuando el agua fluye. Cuando el agua pasa a través de una turbina hidráulica, la turbina extrae energía del agua.

Energía potencial: Es la energía mecánica asociada a la localización de un cuerpo dentro de un campo de fuerzas.

GNU: Es un acrónimo recursivo que significa “GNU No es Unix”, porque fue un proyecto para desarrollar un sistema que sea compatible con Unix, pero a la vez ser libre de distribución.



IP: Protocolo de Internet.

Lazo de control cerrado: es cuando el elemento primario de medición siempre está viendo la variable del proceso y le indica al controlador las variaciones que está teniendo este, para que envíe la salida necesaria al elemento final y así lleve al proceso a los valores deseados (SetPoint).

Presa: Construcción artificial que se levanta desde el lecho de un río para retener su cauce y almacenar agua ya sea para regular su caudal o aumentar el nivel del agua.

Presión atmosférica: Es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie terrestre.

TCP: Protocolo de control de transporte.

SetPoint: en el valor al que tiene que llegar la variable de proceso. Es cualquier punto de ajuste de alguna variable de un sistema de control automático (presión, temperatura, desplazamiento, etc.).

SIS: (Safety Instrumented System), o sistema de seguridad instrumentado. Es la protección para cuando el proceso o la máquina industrial se sale de control, por eso la finalidad es llevar el proceso hacia una condición segura, cuando su control se sale de los límites de seguridad.

UML: Lenguaje unificado de modelado, es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema.

Velocidad de embalamiento: Es la velocidad alcanzada por el grupo turbina-generador después de un rechazo de carga, si por alguna razón el mecanismo de parada falla y la unidad no se detiene o si la tasa de parada no es lo suficientemente rápida. Es llamada también velocidad de fuga.

CONCLUSIONES

La solución automatizada mejoró el control del proceso de tratamiento térmico por las siguientes razones:

1. La visualización de la curva de tratamiento térmico en tiempo real, se generó mediante el diseño e implementación de una interfaz amigable de usuario en Raspberry, que permite monitorear la medición de las temperaturas.
2. Mediante el diseño del nuevo controlador se logró reducir el margen de error en la toma de datos, obteniendo una curva de tratamiento térmico según los parámetros establecidos.
3. El almacenamiento de los datos en archivos xls., permitirá analizar el comportamiento de las temperaturas en cada segmento de la curva de tratamiento térmico.



RECOMENDACIONES

1. Integración de un control de Clapeta durante determinados tiempos en el segmento de enfriamiento, para la eliminación de la apertura de la puerta y obtener un descenso de temperatura uniforme.
2. Generar un Sistema de Gestión de Base de Datos y diseñar un reporte en base a los datos ya registrados del Tratamiento térmico.



REFERENCIAS

- ALVAREZ, A. (2015). *Guia Tkinter*. Recuperado el 16 de agosto de 2016, de http://guia-tkinter.readthedocs.io/es/develop/chapters/1-intro/1.1-About_Tk.html
- APRAIZ, J. (2010). *Tratamientos Térmicos de los Aceros*. Recuperado el 25 de enero de 2017, de http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/10/Tratamientos-t%C3%A9rmicos_1.pdf
- ARIAN. (s.f.). *Instrumentos de Control - Termopares*. Obtenido de Nota Técnica 2: http://www.unet.edu.ve/~nduran/Teoria_Instrucontrol/termopares.pdf
- AUTOMÁTICA, I. E. (2006). *Comunicaciones Industriales*. Oviedo, España: Universidad de Oviedo. Obtenido de <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/comunicacionesindustrialesdocumento.pdf>
- CAILV, C. d. (2014). *Implementaciones de Modbus para Python*. Recuperado el 12 de Octubre de 2015, de <http://cailv.blogspot.pe/2012/06/implementaciones-de-modbus-para-python.html>
- CAPACITACIÓN, M. (2014). *CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC)*. Buenos Aires, Argentina: Micromecánica S.A.I.C., www.micro.com.ar. Recuperado el 20 de julio de 2016, de <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLogicoProgramablePLC.pdf>
- CHAVEZ J., G. M. (s.f.). *Automatizacion y Robotica*. Obtenido de http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_10_MEC01.pdf
- CONTROL, A.-A. Y. (2012). *Automatizacion y Control*. Obtenido de http://autycontrol.com/?page_id=7
- DOMINGUEZ S., U. (2012). *Maquinas Hidraulicas*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=aK2DgptCq5MC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- EGEMSA. (2014). *Taller Central de Mantenimiento*. Obtenido de http://www.egemsa.com.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=127
- ELECTRIC, S. (9 de febrero de 2017). *Training Manual SoMachine V4.1*. Obtenido de http://www.infopl.net/files/descargas/schneider/infoPLC_net_SoMachine_Manual_de_formacion.pdf
- FERNANDEZ D., P. (2013). *Turbinas Hidráulicas*. Obtenido de <http://www.academia.edu/9351971/Turbinas-hidraulicas>: www.termica.webhop.info/
- FOUNDATION, P. S. (2016). *Python*. Obtenido de <https://www.python.org/>



- GARCÍA, M. (2011). *TURBOMÁQUINAS - MÁQUINAS HIDRÁULICAS*. Callao, Perú: Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Recuperado el 17 de enero de 2016
- GONZALEZ M., M. P. (Actualizado de Febrero de 2012). *Maquina de Fluidos*. Obtenido de Tema 6. Turbinas Pelton:
http://cvb.ehu.es/open_course_ware/castellano/tecnicas/maquinas_fluidos/tema-6-turbinas-pelton.pdf
- GONZALEZ, P. (2009). Máquinas de Fluidos: Tema 6. Turbinas Pelton. Recuperado el 15 de enero de 2016
- GONZALEZ, R. (2012). *Phyton para Todos*. España, España. Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de
http://www.utic.edu.py/citil/images/Manuales/Python_para_todos.pdf
- HOME, X. S. (2014). *XALAKA SMART HOME*. Obtenido de
<http://www.xatakahome.com/trucos-y-bricolaje-smart/%20probamos-la-nueva-raspberry-pi-2-a-fondo>
- HOSTING, B. (2015). *Raspbian Org*. Recuperado el 05 de Marzo de 2015, de
<http://www.raspbian.org/>
- <http://www.sqlite.org/>. (2012). Recuperado el 18 de octubre de 2016, de
<http://www.sqlite.org/>
- <https://cdn-shop.adafruit.com/pdfs/raspberrypi2modelb.pdf>. (2014). *Raspberry Pi 2B*. Recuperado el 23 de abril de 2015, de <https://cdn-shop.adafruit.com/pdfs/raspberrypi2modelb.pdf>
- <https://conectabell.com/python-ninja-ide/>. (6 de febrero de 2017). *NinjaIde*. Obtenido de <https://conectabell.com/python-ninja-ide/>
- HUNTER, J. (2012). *Matplotlib*. Obtenido de
<http://matplotlib.org/users/installing.html>
- IBM. (2012). *Rational Rose Enterprise*. Recuperado el 25 de Enero de 2016, de
<http://www-03.ibm.com/software/products/es/enterprise>
- IBM. (s.f.). *Rational Rouse Interprise*. Obtenido de <http://www-03.ibm.com/software/products/es/enterprise>
- IDE, N. (29 de Diciembre de 2016). *Ninja IDE Documentation*. Recuperado el 10 de Enero de 2017, de <https://media.readthedocs.org/pdf/ninja-ide/latest/ninja-ide.pdf>
- INSTRUMENTATION, A. C. (2010). *Nota Técnica 1,2 Termocupla*. Santiago, Chile: 2010.
- LOPEZ, V. P. (03 de Agosto de 2012). *Diseño de un horno para tratamiento térmico del Rodete de la Turbina Francis (CELEC Unidad de Negocio Hidroagoyan)*. Recuperado el 30 de enero de 2016, de
<https://es.scribd.com/doc/135898095/15T00485-pdf>



- MAZZONE, V. (2002). *Control Automático 1*. Recuperado el 02 de marzo de 2016, de
<http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- MODBUS, I. D. (s.f.). *National Instruments*. Recuperado el 18 de enero de 2017, de
<http://www.ni.com/white-paper/52134/es/>
- MODBUS-IDA. (2006). *Modbus Messaging Implementation Guide V1_0b*.
Recuperado el 20 de diciembre de 2016, de
http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf
- MOYA, R. (s.f.). *Pandas en Python*. Recuperado el 27 de enero de 2017, de
<https://jarroba.com/pandas-python-ejemplos-parte-i-introduccion/>
- OSORIO, J. (s.f.). *Efecto del Tratamiento Térmico Post Soldadura sobre la Microestructura del Acero Inoxidable Grado CA6NM para la Construcción de Rodetes Hidráulicos*. (Universidad Tecnológica de Pereira-Colombia)
Recuperado el 19 de diciembre de 2015, de
<http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4799187.pdf>
- PASCUAL, S. (2010). *Sistemas de Control: Sistemas de Regulación y Control*.
Recuperado el 27 de febrero de 2016, de
www.tecnologiaycultura.net/docs/SistemasControl.ppt
- PYTHON. (2016). *Pandas en Python, Parte I-Introducción*. Recuperado el 08 de abril de 2016, de
<https://jarroba.com/pandas-python-ejemplos-parte-i-introduccion/>
- RUEDAS, C. (2008). *Automatización Industrial: Áreas de Aplicación para Ingeniería*. Recuperado el 10 de diciembre de 2015, de
http://www.fsalazar.bizland.com/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin10/URL_10_MEC01.pdf
- RUEDAS, C. (2010). *Automatización Industrial: Aplicación para Ingeniería*. Guatemala: Universidad Rafael Landivar. Recuperado el 25 de Setiembre de 2016, de
http://www.fsalazar.bizland.com/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin10/URL_10_MEC01.pdf
- RUP, M. (s.f.). *Procesos de Software*. Obtenido de
<https://procesosdesoftware.wikispaces.com/METODOLOGIA+RUP>
- SANCHEZ, U. (2012). *Maquinas Hidraulicas*. España: Club del Universitario. Recuperado el 20 de marzo de 2015, de
https://books.google.com.pe/books/about/M%C3%A1quinas_hidr%C3%A1ulicas.html?id=aK2DgptCq5MC&redir_esc=y
- SCHNEIDER, E. (2014). *Controladores Lógicos Modicon M241 y M251*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de
http://www.coevagi.com/Docs/Sch_M251.pdf
- SCHNEIDER, E. (2014). *Manual de Formación*. Schneider Electric. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de



- http://www.infoplac.net/files/descargas/schneider/infoPLC_net_SoMachine_Manual_de_formacion.pdf
- SUAREZ, A. (2015). Recuperado el 03 de Noviembre de 2016, de Python:
<http://python-para-impacientes.blogspot.pe/2015/12/tkinter-disenando-ventanas-graficas.html>
- SUESCUN MONSALVE, I. (2011). Centrales Hidraulicas. Antioquia, Colombia.
- UBEDA, B. (2009). Sistemas Embebidos. En B. Ubeda Miñarro, *Apuntes de: sistemas Embebidos (2009) Tema 1* (págs. pp 1-4). Universidad de Murcia, Murcia, España: Departamento de Ingenieria de la Informacion y las Comunicaciones. Obtenido de <http://ocw.um.es/ingenierias/sistemas-embebidos/material-de-clase-1/ssee-t01.pdf>
- Ubiquitous. (14 de 10 de 2015). *Proceso de diseño de sistemas embebidos*. Recuperado el 27 de 05 de 2017, de <http://www.ubiquitous.com/6O1I5nnZ/>
- VIRTUAL, A. (s.f.). *Diagrama de Bloques*. Obtenido de <http://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/diagramadebloques.html>